UNIVERSITE DE PARIS - FACULTE DE PHARMACIE

Année 1964-1965. Série U. - N° 418

THESE

présentée à la

Faculté de Pharmacie de l'Université de Paris

pour l'obtention du titre de

Docteur de l'Université de Paris

(Pharmacie)

par

Nicole CHRISTELLE

Pharmacien

Diplômée de Microbiologie du Sol de l'Institut Pasteur de Paris

Licenciée en Droit

CONTRIBUTION A L'ETUDE DE LA FERMENTATION DES ORDURES MENAGERES

Soutenue le : 24 juin 1965.

Jury : MM. A. QUEVAUVILLER Président
Ch. DEHAY Examinateurs
A. GERMAN
G. LE MOAN

UNIVERSITE DE PARIS - FACULTE DE PHARMACIE

Année 1964-1965. Série U. - N° 418

THESE

présentée à la

Faculté de Pharmacie de l'Université de Paris

pour l'obtention du titre de

Docteur de l'Université de Paris

(Pharmacie)

par

Nicole CHRISTELLE

Pharmacien

Diplômée de Microbiologie du Sol de l'Institut Pasteur de Paris

Licenciée en Droit

CONTRIBUTION A L'ETUDE DE LA FERMENTATION DES ORDURES MENAGERES

Soutenue le : 24 juin 1965.

Jury : MM. A. QUEVAUVILLER Président
Ch. DEHAY Examinateurs
A. GERMAN
G. LE MOAN

UNIVERSITEITSBIBLIOTHEEK
LEIDEN

ADMINISTRATION

MM.	G. VALETTE. O .※. C. Q Ord. Nat. du Mérite	*Doyen*
	MM. JANOT. O ※ . C. Q.	*Assesseur*
	P. MALANGEAU. O. Q.	*Assesseur*
	L. RODINEAU. ※ O. Q.	*Secrétaire Général*
Mme	S. FERRARI. Q.	*Attachée Principale*
	M. L. ESPINASSE. O. Q.	*Attachée*
M.	L. JEANDEL. O. Q.	*Attachée*
Mme	C. PEILLON.	*Attachée*
M.	A. BRENN. ※.	*Attaché*
Mle	G. BIDEAU.	*Secrétaire*
Mme	S. CERTAIN. O. Q.	*Secrétaire*
	M. COUSIN.	*Secrétaire*
M.	A. DROUILLY. O. Q.	*Secrétaire*
Mme	T. ROUVEURE.	*Secrétaire*
Mme	L. WARNESSON. Q.	*Secrétaire*

DOYEN HONORAIRE

M.	R. FABRE. C ※ C. Q.	*Membre de l'Institut*

PROFESSEURS HONORAIRES

MM.	M. DELEPINE. C. ※ . C . Q	*Membre de l'Institut*
	L. LAUNOY. O . ※ . O . Q	
	P. FLEURY. O . ※ . C . Q	
	M. PICON. O . ※ . O . Q	
	C. BEDEL. ※ . O . Q	
	R. FABRE. C . ※ . C . Q	*Membre de l'Institut*

PROFESSEURS

MM.	M. M. JANOT. O.✻.C.Q	*Pharmacie galénique (T)*
	G. VALETTE. C.✻.C.Q Ord. Nat. du Mérite	*Pharmacodynamie (T)*
	R. PARIS. ✻.C.Q	*Histoire naturelle des médicaments simples d'origine végétale (T)*
	M. GUILLOT. ✻.O.Q	*Physique (T)*
	J.A. GAUTIER. ✻.O.Q	*Chimie organique (T)*
Mle	S. LAMBIN. ✻.O.Q	*Microbiologie (T)*
MM.	Y. RAOUL. ✻.O.Q	*Physiologie (T)*
	J. COURTOIS. ✻.O.Q	*Chimie biologique (T)*
	L. DOMANGE. ✻.C.Q	*Chimie minérale (T)*
	P. CRETE. ✻.O.Q	*Botanique (T)*
	R. TRUHAUT. O.✻.O.Q	*Toxicologie et Hygiène industrielle (T)*
	A. MORETTE. ✻.O.Q	*Hydrologie (T)*
	R. CAVIER. O.Q	*Parasitologie (T)*
	A. QUEVAUVILLER. ✻.O.Q	*Hygiène et Education Sanitaire (T)*
	R. MOREAU. ✻.O.Q	*Pharmacie chimique (T)*
	A. GERMAN. O.Q	*Virologie et Sérologie (T)*
	M. PIETTE. ✻.O.Q	*Biologie sanguine (T)*
	P. MALANGEAU. O.Q	*Chimie analytique (T)*
	M. GIRARD. O.Q	*Chimie appliquée à l'expertise (T)*
	G. DILLEMANN.....	*Législation, Déontologie et Histoire de la Pharmacie (T)*
	G. DEYSSON. O.Q	*Cytologie végétale (T)*
	J. FLAHAUT. Q.....	*Minéralogie (T)*
	C. BOUDENE.....	*Toxicologie et Hygiène industrielle (T)*
	J. RENAULT. O.....	*Chimie organique (T)*
	A. LE HIR.....	*Pharmacie galénique*
	P. LARUELLE.....	*Physique*
	P. ROSSIGNOL.....	*Pharmacodynamie*
	A. MANGEOT. O.Q	*Pharmacie galénique industrielle*
	P. DELAVEAU.....	*Matière médicale*
	Y. COHEN.....	*Sciences naturelles*
	H. RENAULT.....	*Physique*

MAITRES DE CONFERENCES

MM.	R. BOURBON.....	*Chimie analytique*
	G. LE MOAN.....	*Sciences appliquées*
	C. PAOLETTI.....	*Sciences appliquées*
	P. REYNAUD.....	*Sciences physico-Chimiques*
	J. POISSON.....	*Sciences naturelles*
	A. DESVIGNES. Q.....	*Cryptogamie et technique bactériologique*
	F. PERCHERON.....	*Sciences appliquées*
	J. SAVEL.....	*Biologie animale*
	J. BORY. Q.....	*Sciences naturelles*
	M. MIOCQUE.....	*Chimie organique*
	J. L. GUIGNARD.....	*Botanique générale*
	J. C. GOUNELLE.....	*Sciences naturelles*
	P. BINET.....	*Biologie animale et Zoologie*
	C. COMBET-FARNOUX.....	*Chimie organique*
Mme	M. PLAT.....	*Sciences appliquées*
MM.	E. DELACOUX.....	*Sciences physico-Chimiques*
	J. DIDRY (F.F.).....	*Mathématiques appliquées aux Sciences expérimentales*

CHEFS DE TRAVAUX PRATIQUES

Mme	J. BLANC (F.F.).....	*Chimie analyses (1re A. N)*
MM.	A. CARLIER (F.F.).....	*C.E.S. Pharmacie galénique Industrielle*
	J. CHARLES (F.F.).....	*Mathématiques*
	C. DAGRON (F.F.).....	*Chimie préparation (1re A. N)*
Mle	M. T. DECAUDIN (F.F.).....	*Biologie animale (3e A.).*
M.	C. DREUX (F.F.).....	*C.E.S. Electrochimie appliquée à l'analyse*
Mle	G. DUMANT (F.F.).....	*Chimie préparations (1re A. N)*
MM.	P. GEORGES (F.F.).....	*C.E.S. Parasitologie*
	P. GESTEAU. ☼ . O . Q.....	*C.E.S. Biochimie*
Mle	M. J. GOURSAT (F.F.).....	*Chaire de botanique*
MM.	H. GUERIN. ☼ . O . Q.....	*Biologie végétale (3e A)*
	M. GUERNET.....	*Chimie (2e et 3e années)*
	M. HAMON. (F.F.).....	*Chimie analyses (1re A. N)*
	J. HARISPE. O . Q.....	*Chimie préparations (1re A)*
	G. HAZEBROUCQ (F.F.).....	*Physique*

M.	J. HENRY.....	*Chimie (4e Année)*
Mme	J. HUBERT.....	*C.E.S. Bactériologie*
Mme	M. J. HURON (F.F.).....	*Mathématiques*
Mle	Y. JUND.....	*C.E.S. Microbiologie*
M.	M. LEBOEUF (F.F.).....	*C.E.S. Pharmacotechnie*
Mme	N. LEGER (F.F.).....	*Zoologie*
M.	R. LELUC.....	*Microbiologie (4e A)*
M.	A. LEMONNIER.....	*Chimie analyses (2e et 3e A)*
Mme	S. LEMONTEY.....	*Chimie (4e A).*
Mle	M. LONGEVIALLE (F.F.).....	*Chaire de botanique*
Mle	S. LONGUEVALLE. ✪ .✪	*Chimie examens*
MM.	J. MANDEREAU (F.F).....	*C.E.S. Pharmacotechnie*
	H. MARTIN FRERE (F.F.).....	*Chimie préparations (1re A)*
Mle	H. MORIN. ✪ .✪	*C.E.S. Pharmacodynamie*
M.	H. MOSKOWITZ, (F.F.).....	*Chimie analyses (1re A N.)*
Mme	M. J. NOTTEGHEN (F.F.).....	*Zoologie*
MM.	NGUYEN PHU LICH.....	*C.E.S. Toxicologie*
	M. PARIS (F.F.).....	*C.E.S. Analyse appliquée au contrôle des médicaments (Biologie)*
	R. PERLES.....	*C.E.S. Biochimie*
	J. PESTIS (F.F.).....	*Biologie animale (2e A)*
	P. POULLAIN.....	*C.E.S. Hématologie*
	J. RIVET (F.F.).....	*Chaire de Physique*
Mme	M. ROBERT.....	*C.E.S. Sérologie*
Mle	A. ROLLEN. ✵ .✪ .✪	*Biologie végétale (2e A)*
Mle	L. SEGUIN. ✪ .✪ (F.F.)	*C.E.S. Analyse appliquée au contrôle des médicaments (physico-chimie)*
Mme	M. SEILLER (F.F.).....	*Pharmacie galénique industrielle*
M.	J. YONGER (F.F.).....	*Chimie analyses (1re A)*

BIBLIOTHEQUE

Mle	Y. RUYSSEN. ✵ . ✪ . ✪	*Conservateur, chargée de la direction*
Mle	S. LAVAUD. ✵ . ✪ . ✪	*Conservateur*
Mme	G. KREHMER. ✪ . ✪	*Conservateur*
Mme	A. DESGRIPPES. ✪ . ✪	*Bibliothécaire*

A Monsieur le Professeur QUEVAUVILLER

Professeur d'Hygiène et d'Education Sanitaire
de la Faculté de Pharmacie de Paris.

Inspecteur Général Adjoint des Etablissements
Classés du Département de la Seine.

Chevalier de la Légion d'Honneur.

Qui n'a cessé de nous encourager et de nous guider. Avec l'expression de toute notre gratitude.

A Monsieur le Professeur A. GERMAN

Professeur de Virologie à la Faculté
de Pharmacie de Paris.

Pharmacien en Chef des Hôpitaux de Paris

et à Monsieur LE MOAN,

Maître de Conférences Agrégé
à la Faculté de Pharmacie de Paris

Pharmacien en Chef des Hôpitaux de Paris.

Qui ont bien voulu accepter de faire partie de notre jury. Qu'ils veuillent bien trouver ici nos sincères remerciements.

A Monsieur le Professeur DEHAY

Professeur de Botanique à la Faculté
Mixte de Médecine et de Pharmacie de Lille.

Chevalier de la Légion d'Honneur

Qui nous a accueillie dans son Laboratoire et nous a fait profiter de sa grande expérience. Avec l'expression de toute notre reconnaissance.

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41544306_0059

TABLE DES MATIERES

page

PREMIERE PARTIE : Notions Générales

Introduction : DEFINITION, TONNAGE, COMPOSITION DES ORDURES MENAGERES 9

Traitement des Ordures ménagères.

Chapitre I : LA FERMENTATION DES ORDURES MENAGERES..17

- Notions Générales

- Facteurs qui interviennent dans le compostage des ordures ménagères

1 - Microorganismes
2 - Flore surajoutée
3 - Aération
4 - Humidité
5 - Température
6 - Compostage des Ordures Ménagères et des boues d'épuration.

Chapitre II - DIFFERENTS PROCEDES DE FERMENTATION DES ORDURES MENAGERES, A L'AIR LIBRE, EN CELLULES, EN DIGESTEURS..... 25

A - Opérations préliminaires : triage, broyage

B - Applications industrielles de la fermentation

1 - Fermentation à l'air libre : DORR OLIVER 28
BUHLER
GONDARD

II - Fermentation en cellules : BIOTANK 29
PRAT
CIFAL

III - Fermentation en digesteur : DANO 30
CAREL et FOUCHE
MULTIBACTO-TRIGA

IV - Cas de fermentation d'ordures urbaines additionnées de boues d'épuration : LUCHAIRE 32
PROCEDE JERSEY

V - Thermo-stérilisation 33

Annexe : Aspect financier du traitement des ordures ménagères par fermentation accélérée.

Chapitre III - RECHERCHES BACTERIOLOGIQUES SUR LE COMPOST D'ORDURES MENAGERES. 35

Sect. I - Germes pathogènes pour les hommes et les animaux 40

Sect. II- Germes pathogènes pour les végétaux.

Chapitre IV - DECHARGE BRUTE DES ORDURES MENAGERES .42

1 - Aménagement d'une décharge brute

2 - Applications de la décharge brute.

Chapitre V - DECHARGE CONTROLEE 45

1 - Données générales et Définition

2 - Problèmes posés par la méthode dite de décharge contrôlée - Conditions géologiques : 47

a - Choix du terrain
b - Constitution des couches
c - Couverture
d - Cas particulier de la décharge en eau.

3 - Inconvénients de la décharge contrôlée 52

a - Pollution des eaux
b - Gaz de fermentation - odeurs
c - Incendies
d - Rats, mouches, corbeaux

4 - Avantages de la décharge contrôlée 5

5 -Aspect financier

6 - Conclusion

DEUXIEME PARTIE

Microbiologie du Compostage - Recherches en Laboratoire et sur le terrain. 59

Introduction

Chapitre I - EVOLUTION CHIMIQUE ET MICROBIOLOGIQUE d'UN ECHANTILLON D'ORDURES MENAGERES EN LABORATOIRE. 61

A - Analyse Physique (pH- H_2 O) 63

B - Analyse chimique 64

a - teneur en C
b - teneur en N total
c - rapport C/N
d - humus
e - complexe absorbant
f - analyses chimiques diverses

Annexe - Tableau récapitulatif des analyses chimiques 69

C - Microbiologie du compostage 70

1 - Microflore totale 72

Microflore non bactérienne : Champignons 75
Actinomycètes

II - Cycle du Carbone 76

Amylolyse 78
Cellulolyse 81

III - Cycle de l'Azote 87

- Etude des fixateurs de N atmosphérique 88
1 - fixation aérobie libre : Azotobacter
2 - fixation anaérobie libre : Clostridium

- Etude de : Protéolyse 93
Ammonification 95
Nitrification 99
Denitrification 103

Chapitre II - EXPERIENCES SUR LE TERRAIN : ORDURES BROYEES ET MISES A FERMENTER EN TAS.... 109

Introduction

Evolution de la matière organique

Humidité - aération - température ..... 11[illegible]

Ière expérience 119

2e expérience 121

3e expérience 123

4e expérience

Conclusion 124

Chapitre III - RECHERCHES SUR LE TERREAU PROVENANT DE LA FERMENTATION ACCELEREE DES ORDURES MENAGERES DANS LES INSTALLATIONS INDUSTRIELLES..... 131

A - Procédé BIOTANK 134

B - Procédé TRIGA 136

C - Procédé CAREL et FOUCHE 138

CONCLUSION GENERALE 141

oOo

AVANT-PROPOS

Dans l'étude que nous présentons ici, nous nous proposons d'examiner, dans une première partie, les problèmes soulevés par les différents procédés de traitement des ordures ménagères, avec leurs avantages et leurs inconvénients, du point de vue de l'hygiène.

Lors d'une récente conférence, prononcée au Centre de Perfectionnement Technique (8), nous avions décrit succintement les moyens de collecte et de transport des résidus urbains ; nous n'y reviendrons pas.

Dans une seconde partie, nous relatons nos recherches personnelles, ainsi que nos observations relatives à la transformation industrielle des ordures ménagères laissées dans leur milieu naturel, dans la fermentation à l'air libre, ou dans quelques installations de compostage.

oOo

Avant de commencer l'exposé de nos recherches bibliographiques et expérimentales, nous voulons dire à Monsieur le Professeur A. QUEVAUVILLER combien nous lui sommes reconnaissante d'avoir bien voulu nous inscrire dans son laboratoire et nous faire profiter de ses conseils. Il nous a orientée dans la voie de l'expérimentation et n'a cessé de suivre nos efforts dans la rédaction de ce travail. Nous sommes très sensible à l'honneur qu'il nous fait en acceptant de présider le jury de cette thèse.

Tous nos remerciements vont également à Monsieur le Professeur A. GERMAN et à Monsieur Le MOAN Maître de conférences qui ont bien voulu juger ce travail.

Enfin, nous adressons toute notre gratitude à Monsieur le Professeur DEHAY qui nous a guidée dans nos recherches expérimentales et nous a permis de travailler dans son laboratoire.

Nous devons une particulière reconnaissance à Monsieur le Professeur GEHU

et à Madame GEHU, chef de travaux pratiques

qui nous ont constamment aidée dans nos expériences chimiques et microbiologiques.

Monsieur le Professeur POCHON, Directeur du Service de Microbiologie du Sol de l'Institut Pasteur de Paris, et ses Collaborateurs, n'ont cessé de nous guider avec sollicitude pendant le stage que nous avons effectué dans leurs Laboratoires. Qu'ils veuillent bien accepter nos sincères remerciements.

Que tous nos Maîtres de la Faculté de Pharmacie de Lille trouvent ici l'expression de notre reconnaissance pour leur enseignement.

INTRODUCTION

Dans la nomenclature des établissements classés "dangereux insalubres ou incommodes" (tableau dressé en exécution des articles 5 et 7 , paragraphe 3 de la Loi du I9 décembre 1917, modifiée et complétée par le Décret du 1er Avril 1964), figurent deux rubriques consacrées aux ordures ménagères : ce sont les n° 169 et 322.

Le 14 avril 1962, le J.O. faisait paraître un "texte d'intérêt général" sur l'évacuation et le traitement des ordures ménagères.

De nombreuses lois et des règlements multiples l'avaient précédés : nous en donnons une liste en fin de cet ouvrage.

Si ce problème préoccupe à ce point le Gouvernement et les autorités départementales, responsables de la santé et de l'hygiène publique, c'est à juste titre. En effet, dans une civilisation moderne, il serait inconcevable d'admettre que la plus grande liberté soit laissée aux citoyens d'évacuer leurs déchets comme bon leur semble. Aimant les solutions de facilité, il est bien évident que leurs villes deviendraient rapidement les cloaques du Moyen-Age, ce que sont encore, hélas , bien des petites agglomérations, ou certains coins plus ou moins cachés de grandes villes.

Sans oublier le côté inesthétique de ces dépôts d'ordures disséminés çà et là, il faut entrevoir un aspect bien plus grave du problème , qui touche la santé de la population.

Les nuisances occasionnées dans de telles circonstances sont réelles : à côté d'odeurs nauséabondes, ce sont les hordes de rongeurs, les nuages de mouches, tous vecteurs de maladies. On peut faire intervenir aussi la pollution des eaux souterraines par l'infiltration de l'effluent formé dans ces tas d'ordures.

Le Législateur a donc règlementé l'évacuation et le traitement des ordures ménagères. Il a pris les mesures nécessaires

pour que ces opérations s'effectuent dans les meilleures conditions d'hygiène.

Si toutes ses prescriptions sont suivies, le problème des nuisances est certes très amoindri, pour ne pas dire supprimé... Il faut bien avouer, cependant, que les municipalités ou les entreprises qui sont chargées de ces services ont souvent quelques difficultés à appliquer ces règlements à la lettre.

Devant les masses énormes d'immondices à évacuer, il est parfois impossible de tout brûler dans les 24 heures ou d'étaler quotidiennement la couverture de terre inerte sur la décharge contrôlée.

Mais il faut reconnaître cependant, qu'actuellement, un très gros effort est fait par les villes pour l'évacuation de leurs déchets: partout de nouvelles usines de traitement se construisent . Lorsque un budget communal est insuffisant pour faire face aux dépenses d'investissement, un syndicat de communes se crée et érige sa station de transformation des résidus.

Place du Pharmacien :

Dès les premières lignes de cet exposé, nous avons abordé l'aspect juridique du problème ; nous y reviendrons parfois au cours des différents chapitres. Cependant, ce n'est pas en juriste, mais en qualité de pharmacien que nous développerons le sujet choisi.

A première vue, ce choix peut étonner. Mais si nous reprenons la notion de nuisances évoquée plus haut, il est bien évident que nos années d'étude pharmaceutiques, avec leur enseignement de la toxicologie, de la chimie analytique, microbiologie, hygiène etc... nous ont permis de comprendre les problèmes que soulève le traitement des O.M.

S'il nous a paru nécessaire, parfois, de faire incursion dans des domaines aussi divers que la médecine du travail, ou l'utilisation en agriculture d'un terreau d'O.M., il ne faut pas perdre de vue que le fil conducteur de notre exposé est "le traitement des O.M." dans leurs rapports avec l'hygiène publique, et ceci intéresse le pharmacien, éducateur sanitaire et social.

Il ne nous paraît pas superflu de rappeler le rôle du pharmacien. Notre Maître, Monsieur le Professeur QUEVAUVILLER, à la 5e Conférence Internationale pour la Santé et l'Education Sanitaire (Philadelphie, 1962, in Actualités Pharmaceutiques d'Hygiène et d'éducation sanitaire 1962-1963) (70) a énuméré les domaines dans lesquels le pharmacien français pouvait exercer son influence et utiliser ses compétences. Pour notre part, nous retiendrons ses

remarques concernant l'élimination des déchets, la dératisation, la protection de l'ambiance, par la lutte contre la pollution atmosphérique etc...

Parce qu'on a reconnu leur compétence de techniciens, les pharmaciens sont nombreux dans les Comités et Commissions qui s'occupent de salubrité. Citons entre autres : Conseil Supérieur d'Hygiène publique de France, les Conseils d'hygiène départementaux, l'Académie Nationale de Médecine, le Conseil supérieur des Etablissement classés dangereux, insalubres ou incommodes, etc....

oOo

PREMIERE PARTIE

DEFINITION DES ORDURES MENAGERES

Il peut sembler paradoxal de vouloir donner une définition des ordures ménagères. Celles-ci peuvent rassembler tout ce dont les particuliers veulent se débarasser. C'est ainsi qu'on l'envisage bien souvent et la preuve en est donnée par le contenu hétéroclite des pouvelles !

Le législateur a cependant prévu cette anarchie et a donné des limites raisonnables à la notion d'O. M.

Le décret 59-1081 du 31 août 1959, portant approbation d'un cahier des charges type pour l'entreprise de la collecte et de l'évacuation des O. M. (dans les villes de plus de 10.000 habitants) donne en son article 2 la définition suivante, reprise au Titre 1 B de la Circulaire du 14 avril 1962, que nous croyons nécessaire de reproduire intégralement :

" a - Les détritus de toute nature comprenant notamment : ordures ménagères, cendres, machefers de chauffage central, débris de verre ou de vaisselle, feuilles, balayures et résidus de toutes sortes déposés même indûment aux heures de collecte, dans les récipients individuels ou collectifs placés devant les immeubles ou à l'entrée des voies inaccessibles aux camions.

b - Les déchets provenant des établissements industriels et commerciaux, bureaux, administrations, cours et jardins privés, déposés dans des récipients, dans les mêmes conditions que les ordures ménagères avec l'agrément de l'administration, dans la limite de : (chiffre variable suivant la localité) litres par jour ouvrable et par logement ou établissement.

c - Les crottins, fumiers, feuilles mortes, boues et d'une façon générale, tous les produits provenant du nettoiement des voies publiques, voies privées abonnées au balayage, jardins publics, parcs, cimetières et leurs dépendances, rassemblées en vue de leur évacuation.

d - Les produits du nettoiement et détritus des halles, foires, marchés, lieux de fêtes publiques, lieux d'attache de bêtes de somme ou de trait, rassemblées en vue de leur évacuation.

c - Les résidus en provenance des écoles, casernes, hôpitaux, hospices, prisons et tous bâtiments publics groupés sur des emplacements déterminés dans des récipients règlementaires (à l'exclusion des produits souillés et des issues d'abattoirs).

f - Le cas échéant, tous objets abandonnés sur la voie publique ainsi que les cadavres de petits animaux..(notons que le règlement sanitaire départemental type, interdit de jeter les cadavres d'animaux dans les poubelles).

TONNAGE ET COMPOSITION DES ORDURES MENAGERES

Nous étudierons dans les chapitres ultérieurs l'élimination des O.M. Mais quel que soit le mode de traitement, il convient de connaître la composition du matériel qu'on va transformer. D'autre part, on imagine mal les masses énormes que représentent les déchets qu'une grande ville doit éliminer quotidiennement.

Il nous a paru intéressant, dans ce préambule, d'apporter quelques précisions à ces notions de quantités et de composition.

Quantités

De nombreux facteurs interviennent :

- Le lieu, la saison : en effet, du Nord au Sud, et de l'hiver à l'été , on voit augmenter la quantité des déchets végétaux et diminuer celle des escarbilles.

- Les habitudes des usagers ont aussi une très grande influence : ainsi la quantité de cendres diminue avec le progrès du chauffage au gaz ou au mazout.

Le volume des papiers et cartonnages s'accroit par l'utilisation toujours plus grande des journeaux, des emballages , etc...

Dans les zones résidentielles, la collecte des O.M. peut être réduite pendant les mois d'été, alors que dans les quartiers à population plus dense, la quantité est plus stable pendant toute l'année.

Nous illustrerons ceci par l'exemple suivant :

LA MADELEINE LES LILLE (25.000 habitants) 1961			
	Secteur I Résidentiel	Secteur II	Secteur III
Janvier	233.950 kg	184.620 Kg	172.690 kg
Mai	176.270	184.500	166.000
Juin	155.000	169.150	148.100
Août	186.000		202.000
	(réduit à deux secteurs)		

Pour Paris, les tonnages étaient de 85.000 tonnes en décembre et 37.000 tonnes au mois d'août (rapport DORFMANN, ingénieur général des services du nettoiement de la Ville de Paris, au Congrès du Nettoiement de Goteborg - 1961).

Il est difficile, a priori, d'évaluer les quantités exactes qui seront produites par une localité de X habitants. On procède généralement à une enquête préalable en vue d'établir un programme de collecte.

Cependant, une formule simple "une tonne par an pour 4 habitants" est assez proche de la vérité. Il faut en réalité envisager 700 à 750 g par jour et par habitant d'une agglomération urbaine.

Ces chiffres sont, bien entendu, variables, tant en France qu'à l'étranger. GOTAAS (27) cite une enquête réalisée en Californie où les poids varient de 0 kg 470 à 1 kg 88 par jour et par habitant.

Parfois, les quantités sont exprimées en m^3 . Il convient alors de faire intervenir un nouveau facteur : la densité. Elle aussi est très variable. Certains auteurs retiennent 0,30 à 0,50 . A Lille nous avons relevé les chiffres de 0, 90 en hiver et 0, 65 en été. Mais rappelons que les ordures de Lille, ainsi que celle de St Etienne sont les plus lourdes. Elles contiennent de fortes proportions de cendres.

Le poids du m^3 est de 560 kg pour POTTEVIN (66), 450 à 590 kg pour GOTAAS (27).

Nous nous exprimerons en poids, et non en volume (les ordures sont essentiellement compressibles) dans les chiffres qui suivent et qui doivent donner une idée des quantités de déchets ménagers que les municipalités doivent évacuer tous les ans.

Ville	Population	Tonnage annuel
Paris	5 millions	1 million
Bordeaux	285.000	90.000
Nantes	230.000	52.000
Lille	200.000	60.000
Angers	110.000	37.000
Amiens	108.000	28.000
Mulhouse	106.000	33.000
Tours	90.000	35.000
St Nazaire	50.000	16.000

COMPOSITION

Celle-ci est intéressante à connaître, pour différentes raisons : la principale est sans aucun doute la détermination du choix d'un procédé de traitement. Ce choix sera influencé, bien entendu, par d'autres facteurs : quantités d'ordures à traiter, possibilités de financement, facilité d'écoulement des sous-produits etc... Mais il est nécessaire cependant, de connaître le pourcentage des éléments putrescibles et imputrescibles, des matières organiques, des matières minérales, des combustibles, incombustibles etc...

Les tableaux suivants donnent une vue d'ensemble de la composition des ordures ménagères par pays, par ville etc... ils n'appellent pas de commentaires.

TABLEAU I

COMPOSITION MOYENNE DES ORDURES MENAGERES en pourcentage de poids (densité réelle admise 0,3 à 0,5).					
Pays	Base	Eau	Mat.minérales	Mat. organiques	Q/Habitant (en kg)
Allemagne	100	25	45	30	0,400
Angleterre	100	40	35	25	0,570
France	100	30	35	35	0,750
Hollande	100	35	35	30	0,600
Suisse	100	25	35	40	0,450

TABLEAU II

REPARTITION DES DIFFRENTS COMPOSANTS DES ORDURES MENAGERES				
	Allemagne	France	Hollande	Suisse
Métaux	3	3	4	4
Verres	3	6	3	4
Chiffons, cuirs				
Caoutchouc	2	3	2	2
Papiers, cartons	5	22	16	23
Os	1	1	1	1
Mat. organiques	26	40	34	46
Mat. minérales et cendres	60	25	40	20

Les deux tableaux précédents sont empruntés au rapport de M. GALLET (Techniques et Sciences Municipales, février 1959).

Nous ne pensons pas devoir détailler les différents procédés qui permettent de classifier les éléments.

La circulaire Ministérielle du 14 avril 1962 les décrit minutieusement au Titre I C.

La Mission de l'O.E.C.E. (55) indiquait des méthodes d'échantillonnage très complexes : chaque membre exposait le procédé utilisé dans son propre pays : Belgique, Suède, Allemagne ou Pays-Bas.

JOULOT (34) donne, lui aussi, un moyen de constituer un échantillon. Ces données sont intéressantes, indispensables même pour le technicien chargé du traitement des ordures ménagères.

L'hygiéniste se contentera de résultats beaucoup plus approximatifs... Mais lorsque nous aborderons, au Laboratoire, l'étude de la microbiologie du compostage, il nous sera indispensable d'évaluer avec précision les différents composants de l'échantillon en expérimentation.

TRAITEMENT DES ORDURES MENAGERES

Les problèmes posés par l'évacuation des ordures ménagères suscitent un très vif intérêt et donnent naissance à de nombreuses controverses. Pour les villes, il s'agit avant tout de se débarrasser de quantités d'ordures toujours plus grandes et de le faire par des moyens hygiéniques et aussi économiques que possible.

Trois procédés peuvent être envisagés :

- L'incinération,
- La fermentation,
- La mise en décharge (brute ou contrôlée).

Lequel de ces procédés choisir ? Il n'y a pas de réponse absolue à cette question. Chaque méthode trouve son application suivant les circonstances.

Actuellement, en France, l'incinération et la fermentation se partagent les faveurs des Municipalités. Ce dernier mode de traitement est valable surtout pour les villes moyennes qui désirent accorder au traitement des ordures ménagères des investissements moins importants et qui envisagent la vente du terreau aux agriculteurs.

Nous verrons plus loin l'aspect financier de ces différents modes de traitement.

Nous n'aborderons pas le problème de l'incinération, bien que celle-ci soit primordiale, surtout pour les villes importantes ou les syndicats intercommunaux. Nous considérons, en effet, que l'étude de ce mode de traitement appartient au domaine de l'ingénieur. Notre propos se limitera à examiner les quelques points relatifs à l'hygiène et la salubrité publique dans la conduite de l'incinération des ordures ménagères:

Les usines d'incinération peuvent fonctionner à l'intérieur des agglomérations (8). Cependant, des précautions doivent être prises pour ne pas incommoder le voisinage.

A l'arrivée des bennes, le déchargement doit se faire sans dégagement de poussières. Ceci n'est réalisé que si le silo est clos et muni d'un aspirateur de poussières. Dans le silo, les odeurs ne se dégagent que si les ordures commencent à fermenter ; on doit donc les brûler le plus rapidement possible, au plus tard 24 heures après leur arrivée.

A l'intérieur de l'usine, le dépoussiérage est assuré par cyclone (Bale) par dispositif électrostatique ou par des laveurs comportant des chaînes de ruissellement et des ventilateurs d'aspiration.

A St Ouen, pour un débit de gaz de 20 m^3/sec., avec 3 g de poussières au m^3, le dispositif doit retenir 92 % des poussières.

Les purificateurs de gaz de fumées sont importants. On utilise souvent des électro-filtres mais la température ne doit pas dépasser 300 °C.

Les gaz et les fumées s'échappent par des cheminées de grande hauteur : 60 m à St Ouen , 85 m à Bale.

Il y a émission accrue de poussières si un système de tirage forcé est utilisé à la place d'un système ordinaire.

Il n'y aura pas de dégagement d'odeurs si la combustion est complète. Tous les appareils pour le passage des fumées doivent avoir de grands orifices pour éviter l'encrassage.

Il faut de vastes chambres de combustion permettant un dépôt préalable des cendres volantes.

Lors de leur extinction dans l'eau, les machefers dégagent une grande quantité de vapeur d'eau. Les canaux où se fait cette extinction

seront donc clos pour éviter la dispersion des vapeurs et fumées.

La Circulaire Ministrérielle donne dans son annexe V les précisions suivantes "Les machefers ne contiendront pas plus de 2,5 % de matières organiques putrescibles... les fumées après dépoussiérage ne devront pas contenir plus de 0,4 gramme de poussière par m^3 mesuré à la température de sortie de la cheminée, ni plus de 0,5 de CO en moyenne".

L'incinération des ordures ménagères est très pratiquée aux U.S.A. (14). Le contrôle de la pollution de l'air y est très rigoureux. Des Ordonnances des différentes municipalités contiennent des articles sur la lutte contre les fumées, odeurs, poussières, gaz provenant des usines d'incinération. Il nous a paru intéressant de signaler la "Charte de Ringelmann" (fondée sur la différence de densité de la fumée) inscrite dans la Circulaire 6.888 du Bureau d'Information des Mines U.S. (53).

La densité de la fumée émise est comparée à une gamme colorimétrique. Des textes légaux viennent règlmenter l'émission de fumée (par exemple : Law Committee of the fuels division of the Society). C'est ainsi que personne ne peut emettre de fumée par une chaudière intérieure qui dépasse la densité N°2 de la Charte pour une ou des périodes de 4 à 30 minutes et l'on ne peut dépasser la densité N°3 que pour des périodes de 3 à 15 minutes.

En comparant les différentes sources de pollution de l'air (à Philadelphie) les Américains ont pu attribuer à l'incinération des ordures ménagères les pourcentages suivants :

- Anhydride sulfureux	1 %
- peroxyde d'azote	21 %
- Hydrocarbures	21 %
- Poussières	5 %

En France , la récente loi du 2 août 1961 sur la pollution atmosphérique et les décrets d'application ont fixé les normes générales des fumées.

oOo

CHAPITRE I

LA FERMENTATION DES ORDURES MENAGERES

Notions générales :

Phénomènes d'ordre physique, chimique, biologique qui accompagnent la fermentation en aérobiose :

Ces phénomènes seront particulièrement étudiés dans la seconde partie de cet exposé. Cependant, nous devons les résumer ici, avant d'aborder l'étude des procédés de fermentation à l'échelle industrielle.

Pendant la décomposition des matières organiques, l'oxydation du carbone en CO_2 produit une grande quantité d'énergie qui se dégage sous forme de chaleur, La Température peut atteindre 70°C en quelques jours, voire en quelques heures. Au-delà de cette température, l'activité bactérienne décroît et la décomposition se ralentit.

- De 45 à 65° C les bactéries thermophiles remplacent les mésophiles.

- Certaines bactéries sont aérobies et anaérobies, et peuvent vivre sans oxygène pendant plusieurs jours.

Facteurs qui interviennent dans le compostage :

1 - Microorganismes

Les ordures ménagères commencent d'elles-mêmes leur fermentation car elles contiennent une microflore naturelle abondante, faite de bactéries, actinomycètes et champignons. Leur pullulation n'est pas simultanée : les FUNGI et les PROTOZOAIRES se développent au début de la fermentation. Ils consomment les hydrates de carbone et les protéines. La température s'élève et les fait disparaître.

Ils sont remplacés par les Bactéries et Actinomycètes thermophiles.

Lorsque les matières nutritives se raréfient, l'activité de ceux-ci diminue et la température retombe. Elle est alors de 30 à 40°C .A ce moment, de nombreuses variétés de bactéries et de fungi se développent et attaquent la cellulose.

2 - Flore surajoutée

La flore naturelle est abondante.

Cependant, certains industriels prônent l'adjonction de souches sélectionnées. Il y a de nombreuses discussions sur l'efficacité d'inoculum spéciaux, de souches pures cultivées en laboratoire, de facteurs biologiques spéciaux etc...

Plusieurs méthodes commerciales sont fondées sur l'emploi d'un ensemencement breveté.

En réalité, les bactéries existant dans les ordures ménagères sont mieux adaptées à leur milieu que celles que l'on peut préparer en laboratoire et qui ont souvent une forme atténuée. C'est l'avis de GOTAAS (27) et de GOLUEKE (25) ainsi que de nombreux auteurs.

Les bactéries secrètent des enzymes : on a donc pensé à ensemencer les ordures ménagères avec des enzymes. Mais le nombre des variétés existant dans les ordures est très important ; aussi, serait-il difficile et très coûteux d'effectuer une digestion totale des ordures ménagères par ces ferments. Mais il n'est pas interdit de penser que l'addition d'enzymes spécifiques pourrait accélérer le processus de fermentation de certaines substances plus difficiles à dégrader.

Les expériences faites à l'Université de Giessen ne sont pas exemptes de contradictions et le Professeur GLATHE, expert en la matière, ne porte pas de jugement définitif à ce sujet.

FARKASDI, de l'Université de Giessen, distingue les "substances activantes" qui stimulent l'action des microorganismes et des "vaccins" qui contiennent des microorganismes.

Par contre , PFEIFFER se prononce pour l'inoculation et il a mis au point un inoculuum : le B.D. PFEIFFER.

Dans le compostage en tas, l'EDAFIL, préparé par SPYRA et GLAS, a donné de très bons résultats dans la fermentation de la cellulose. Ces résultats obtenus il y a quelques années, se sont trouvés

confirmés dans les expériences de la Communauté de travail de Giessen, qui employa, outre l'Edafil déjà cité (mélange de microorganismes séchés) :

- Le proteg oléo, dérivé d'huile minérale contenant des extraits végétaux,

- L'additif de Francfort, qui est composé de poussières de pierres, déchets de levure et huile minérale,

- Vaccin EARP THOMAS (Multibacto) mélange de bactéries , d'engrais minéraux et de sucre.

- B.D. PFEIFFER, vaccin contenant des cultures de micro-organismes.

OBRIST cite aussi l'emploi de :

- suspension de spores de THERMOMYCES SANGUINOSUS,

- compost de gadoues et de boues d'épuration âgé de 1 mois.

Nous ne pouvons reproduire ici les modalités d'expériences faites à Giessen, et qui sont détaillées dans le Bulletin n° 19 du Groupement international de Recherches sur les Ordures Ménagères.

En conclusion, ces auteurs estiment que l'ensemencement ne donne pas de résultats probants. Les ordures ménagères ayant une composition différente d'un échantillon à l'autre, il est pratiquement impossible de trouver le produit d'addition adéquat. Quel que soit celui-ci, les expériences pratiquées à Giessen n'ont montré qu'une influence minime.

PARTRIDGE pense que le meilleur inoculum est produit par des ordures déjà fermentées. Les rejets en fin de fermentation sont recyclés au début de la chaîne et apportent aux ordures fraîches toute la flore bactérienne qu'elles contiennent.

Mais des expériences faites à l'usine de compostage de Heidelberg, sur des ordures traitées à la rape DORR OLIVER, et additionnées de terreau fermenté dans différentes proportions, on a conclu que cette adjonction n'accélèrait pas le processus et que l'addition de 20 % de terrau d'hiver produit une baisse de la qualité du produit .

On le voit, les avis sont très partagés dans ce domaine.

3 - Aération

L'aération entretient des conditions d'aérobiose, et permet de réduire un taux d'humidité trop élevé.

Si le compostage s'effectue en digesteur, on aère en forçant de l'air par des tuyaux perforés ou des orifices prátiqués dans des bras rotatifs tournant dans la masse.

L'aération des tas d'ordures ménagères en fermentation se fait par différents procédés : retournement, introduction de cheminée en tôle perforée, mais dans ce dernier cas, le résultat n'est pas excellent, car les gaz de fermentation se dégagent par ces cheminées et empêchent l'entrée d'air.

Dans les installations industrielles qui pratiquent le compostage en tas (Hollande, Allemagne) , de nombreuses observations ont permis de conclure que la hauteur des tas doit être comprise entre 1,50 et 3 m. pour une humidité de 45 % avec un dispositif d'aération (tuyau perforé parcourant la base du tas). Dans ces conditions, la température reste maximale pendant 6 à 8 semaines.

- Respiration

D'autres expériences ont étudié le quotient respiratoire des gadoues, c'est-à-dire le rapport entre le CO_2 rejeté et l'Oxygène ; et l'on a trouvé que pour maintenir les meilleures conditions aérobies, il faudrait envoyer 40 à 60 litres d'oxygène par jour et par kilo de matières, à la période la plus intense de la fermentation... condition irréalisable à l'échelle industrielle....

A l'usine de compostage de Heidelberg, les prélèvements de CO_2 furent pratiqués dans des tas d'ordures en fermentation de hauteurs différentes, avec ou sans aération.

Les volumes de CO_2 étaient de 40 à 75 %, dès le premier jour, et la teneur la plus élevée se trouvait à la température de 45°C. Après un mois de fermentation, le volume de CO_2 retombait à 10-20 %, à des températures supérieures à 60° C.

SCHULZE du "Department of Civil Engineering , Michigan State University" donne les résultats d'analyses de O_2 et CO_2 et calcule le quotient respiratoire.

$$qR = \frac{\%\ CO_2}{21 - \%\ O_2} = 0,8 \text{ à } 0,9$$

Il a constaté que les valeurs de O_2 oscillent entre I et 5 mg par gramme de matière organique et par heure, avec un maximum de consommation d'O_2 dans la zone thermophile.

POPEL, de l'Ecole Polytechnique de Stuttgart, considère que les valeurs basses du quotient respiratoire indiquent une décomposition aérobie, alors que pour une valeur supérieure à I, la production de CO_2 est due, non seulement à l'oxydation du carbone, mais aussi au processus anaérobie de fermentation.

4 - Humidité

La microflore ne peut dégrader la matière organique que dans un milieu humide : on a constaté que dans la masse de gadoues en fermentation, le degré d'humidité idéal est d'environ 40 % . Avec cette quantité d'eau, les ordures ne deviennent ni septiques ni fétides. Avec une humidité supérieure la fermentation tend à se faire en anaérobiose.

Comment apprécier l'humidité de la masse ? Par un moyen très simple. Il suffit de plonger une tige de fer ou de bois dans le tas; on doit la retirer tout juste humide.

5 - Température

Lorsque le compostage a lieu en plein air, on atteint 45 à 50 °C dans les premières 24 heures et 60 à 70° C au bout de 2 à 5 jours. La décomposition s'effectue plus rapidement à ces températures qui conviennent aux bactéries thermophiles. Les meilleurs résultats sont obtenus aux environs de 60° C.

Nous étudions, dans la deuxième partie, les courbes de température des tas en expérimentation. Ces courbes présentent trois phases.

Une première phase, thermophile ou désinfectante : à 50° C environ la température ne s'élève plus aussi rapidement, le nombre des mésophiles diminue et celui des thermophiles augmente.

Au-dessus de 65° C, l'activité biologique diminue rapidement et arrive à un point mort vers 75° C.

Une troisième et dernière phase, celle du refroidissement, où les germes mésophiles apparaissent aussi nombreux qu'avant. On pense qu'il s'agit d'un réensemencement naturel, d'une immigration.

Une conséquence importante de l'échauffement des ordures ménagères pendant le compostage est la destruction des germes

pathogènes pour l'Homme, les animaux, les végétaux. Cette question primordiale pour l'hygiéniste est examinée dans un chapitre spécial.

La chaleur développée a aussi pour autre conséquence, d'éloigner les rats, mouches, insectes , et de détruire les graines indésirables des mauvaises herbes (génantes dans l'emploi ultérieur comme engrais.

6 - Addition de boues aux ordures ménagères

On a préconisé l'addition de boues provenant d'une station d'épuration d'eau vannes.

Cette méthode présente le double avantage recherché :

a - Un équilibre dans la composition de l'engrais.

Les analyses suivantes permettent de comparer les teneurs en éléments fertilisants :

	Compost O.M.	O.M. + boue	Fumier
Teneur en eau	41	54,2	77,5
Perte par chaleur	20	20,3	17,4
Scories (inertes)	5,8	5,3	5,2
Subs. Organ. actives	14,7	15	12,3
Subs. fertilisantes (alcalino solubles)	4,8	3,8	5
N. total	0,6	0,6	0,4
P2 05	0,35	0,82	0,21
CaO	5,3	5,0	0,9
MgO	0,65	0,50	0,23
pH	7,6	7,1	7,3

(Ecole Polytechnique Fédérale de Zurich)

Les boues apportent à l'ensemble de l'azote et du phosphore. Des essais pratiqués dans les usines de traitement des ordures ménagères de Ruschlikon (procédé DANO) et à Uswill (procédé BULHER) ont montré que la substance organique active avait augmenté et la proportion des substances humiques était de 50 % supérieure dans le compost de boues et d'ordures ménagères.

Il convient cependant de remarquer que les boues peuvent contenir un excès de chaux utilisée pour le colmatage des filtres à vide, ou des produits nocifs pour les plantes si elles proviennent de régions industrielles.

b - Garantie du point de vue de l'hygiène

Nous avons étudié par ailleurs, l'action de la température de fermentation, de l'aération etc... Ces considérations sont valables pour le mélange boues et ordures ménagères.

Cependant, un point particulier mérite de retenir l'attention : dans quelles conditions doit se faire le mélange ? On utilise soit des boues fraîches, soit des boues digérées. BRAUN considère que l'emploi de boues fraîches est plus avantageux pour le compostage et que le terreau obtenu est plus riche.

Pour opérer le mélange, GOTAAS (27) pense que 5 à 15 m^3 de boues liquides brutes ou d'eaux usées peuvent être ajoutées à 30 m^3 d'ordures.

A Kirconnel (Ecosse), on mélange une partie d'ordures à trois parties de boues liquides.

Les boues digérées sont ajoutées en plus grandes quantités. L'humidité de celles-ci ne doit pas cependant dépasser 70 % .

A Uzwill, on a pu mélanger les deux matières dans la proportion : 2 kg ordures ménagères + 1 kg de boues deshydratées. L'emploi du mélange à l'état brut est anti-hygiénique.

On pratique couramment le compostage en tas ou en cellule de fermentation, avec ou sans broyage préalable. Si le mélange est préalablement broyé, le taux d'humidité ne doit pas dépasser 50 % ; dans le cas contraire, la teneur maximum en H_2O est de 60 %

oOo

CHAPITRE II

LES DIFFERENTS PROCEDES DE FERMENTATION DES ORDURES MENAGERES A L'AIR LIBRE, EN CELLULES, EN DIGESTEURS

La Circulaire du 14 avril 1962 (J.O. 2 mai 1962) réserve un assez long article (Titre II, par. H) à la préparation d'amendements et d'engrais, comme méthode d'évacuation et de traitement des ordures ménagères, et assure que : "l'utilisation des ordures à la préparation de composts et de terreau est un développement souhaitable de leur utilisation directe dans l'agriculture comme amendement et engrais ".

Nous examinerons, dans ce chapitre, quelques procédés industriels de traitement. Ces usines sont celles que, personnellement nous avons visitées (I0) et dont, pour certaines, nous avons étudié le terreau en laboratoire. Cette liste est évidemment incomplète ; nous nous bornons ici à énumérer les procédés les plus répandus actuellement (50) et nous commencerons par les diverses opérations préalables à la fermentation, mais non obligatoires :

- Le triage
- Le broyage.

A - OPERATIONS PRELIMINAIRES

- Le Triage

Un grand nombre de procédés de fermentation pratiquement le triage des ordures ménagères avant de les introduire soit dans la cellule, soit dans le digesteur. En effet, beaucoup de matières sont récupérables et ont une certaine valeur : ce sont les métaux, les chiffons, les papiers, etc... D'autres matières présentent un inconvénient pour le bon déroulement de la fermentation : tessons de bouteilles, briques, caoutchouc.

Plusieurs méthodes de triage sont employées :

- magnétique pour le métaux ferreux
- balistique pour les objets lourds
- manuel pour un tri plus poussé, plus minutieux.

Dans certaines installations, on effectue le tri manuel : certains se récrient devant ce "spectacle dégradant". Nous avons visité plusieurs installations de ce genre : les ordures défilaient sur un tapis roulant ; elles étaient arrosées pour éviter l'envol de poussières ; des trieurs, munis de gants, séparaient les tessons de bouteilles, cailloux, chiffons. Ce travail ne semblait pas plus nocif que celui du chimiste qui respire toute la journée des vapeurs nauséabondes, par exemple. Toutefois, il est évident qu'il faut tout mettre en oeuvre pour l'éviter.

- Le Broyage

Le compost est de meilleure qualité lorsque les ordures ont été préalablement broyées.

Le broyage peut précéder ou suivre la transformation biologique. Certains techniciens ont préconisé, là où les ordures ménagères étaient en quantités importantes, de laisser fermenter le matériel à l'état brut, disposé en tas. Les interstices entre les particules étant plus grands, l'air s'y emmagasine mieux et la fermentation est accélérée.

Cependant , la plupart des procédés utilisent le broyage préalable. De nombreux types de broyeurs existent . Nous citerons deux méthodes parmi les plus répandues.

1 - Broyeur

Les ordures sont déposées sur un ruban transporteur et dirigées dans la trémie de charge du broyeur. Le premier broyage grossier se fait dans un broyeur à rotor simple . Puis les ordures ménagères tombent sur un tambour magnétique équipé de lames magnétiques. Les débris ferreux sont éliminés. Le matériel restant tombe dans un deuxième broyeur muni de deux rotors indépendants tournant en sens contraire. A ce stade, les morceaux de verre et de porcelaine sont pulvérisés. Puis les ordures passent sur un crible vibrant qui élimine les particules trop volumineuses et qui sont réintroduites en début de cycle. Ce type de broyeur traite 5 tonnes par heure. En principe, dans une telle installation, toutes les opérations se font en circuit fermé, ce qui évite la dispersion des poussières.

Des aménagements peuvent le compléter :

- **un petit four pour incinérer les refus,**
- **un dispositif de ventilation,**
- **un mélangeur au cas où l'on ajoute des boues digérées aux ordures ménagères.**

Ceci est l'installation type de broyage. Des usines n'ont qu'un seul broyeur, ou bien les deux, comme décrit plus haut.

2 - La rape

La rape est un cylindre bas d'environ 5 m de diamètre, avec un axe vertical rotatif, muni de bras qui en couvrent toute la surface. Le fond est doublé : le premier sur lequel passe la rape, est percé de trous et présente de plus un aspect rugueux qui facilite la désintégration du matériel. Les ordures passent au travers, les éléments les plus volumineux restent dans la rape dont ils sont retirés périodiquement.

A l'intérieur de la rape, des tuyaux d'arrosage apportent l'humidité nécessaire. La rape ainsi décrite peut traiter 5 tonnes/heure.

Après ces opérations préliminaires, vont s'accomplir les différentes phases de la fermentation.

Les techniques que nous allons décrire ont eu pour objectif de :

- réduire le temps de compostage
- opérer dans les conditions les plus hygiéniques possible pour le personnel et le voisinage,
- obtenir un compost de bonne qualité apprécié en agriculture.

GOTAAS (27) retrace l'historique du compostage. Il rappelle que HOWARD, avant BECCARI, utilisa les méthodes de fermentation par mise en tas des ordures ménagères et mit ainsi au point les procédés d'INDORE et de BENGALORE. Des améliorations successives furent apportées par les techniciens VERDIER, BORDAS, EARP THOMAS, etc....

B - APPLICATIONS INDUSTRIELLES DE LA FERMENTATION

La fermentation aérobie des ordures ménagères trouve son application :

- **soit dans la fermentation à l'air libre,**
- **soit dans la fermentation en cellules,**
- **soit dans la fermentation en digesteur.**

Si les conceptions techniques diffèrent, chaque constructeur s'est ingénié cependant à diminuer au maximum les nuisances que peut occasionner le déchargement des ordures ménagères dans les fosses de réception, leur acheminement vers les broyeurs ou les lieux de fermentation.

I - Fermentation à l'air libre

- Procédé DORR OLIVER

Dans le système actuel, que nous avons vu à Montbéliard et en Vallée de Chevreuse les déchets sont préalablement dilacérés dans un broyeur spécial, la rape décrite plus haut. Un élévateur déverse les ordures rapées dans une centrifugeuse à marteaux qui pulvérise les matières friables. Les ordures broyées tombent dans une fosse où elles sont reprises par un transporteur à vis et mises en tas. Les tas sont retournés fréquemment à l'aide de pelles de grande capacité. Ces installations doivent nécessairement être construites dans des lieux isolés ou tout au moins à une certaine distance des zones habitées.

- Procédé BULHER

Les ordures ne sont pas triées préalablement. Un ruban d'acier les amène vers un premier broyeur à marteaux puis elles passent sur un électro-aimant puissant. Les ordures sont ensuite transportées sur un tamis vibrant. Le produit fin, les débris de verre, sont pulvérisés dans un laminoir et le refus du tamis vibrant est broyé définitivement dans un second broyeur à marteaux. Le produit ainsi obtenu est dirigé vers la fermentation sur le terrain de compostage. Les avantages de cette installation : le traitement se fait sans l'intervention direct de l'homme et le compost est exempt de verre.

Ce procédé est utilisé actuellement en Suisse à Uswill, Kusnacht,au Maroc à Rabat, en France à Longwy , Caen, Chambéry (urines Luchaire utilisant le broyeur Buhler).

- Procédé GONDARD

Les ordures sont broyées sans triage. Le broyeur est muni d'une cheminée chargée de l'évacuation balistique des corps non broyables (métaux, caoutchouc etc...) . Cet appareil restitue d'une part le poudreau , contenant tous les produits qui, en fermentant, donneront le terreau, et par la cheminée sont évacués les ferailles, pneus et autres éléments indésirables.

Le volume des ordures ménagères est réduit de 50 % ; les ordures broyées et mises en tas ne dégagent pas d'odeurs. A Meaux, les tas ne sont pas retournés.

De nombreuses installations GONDARD existent en France (Bourges - Grasse - Ajaccio) et à l'étranger (Madrid).

La fermentation à l'air libre est très répandue dans le monde Hollande, Allemagne, Mexique, Nouvelle Zélande, etc...

II - Fermentation en cellules

- Procédé BIOTANK

Une usine a été construite à Calais en I956, et traite 80 tonnes en 8 heures. Les ordures sont ainsi préparées : l'élément de criblage (trommel) les sépare en trois éléments : une première maille fine qui constitue la maille définitive du terreau, une maille moyenne variant de 120 à 180 mm qui absorbe l'essentiel des éléments fermentescibles des ordures et le rejet final. Les matériaux passés à la maille moyenne sont déferraillés puis broyés. Les ordures ainsi préparées sont envoyées dans la cellule de fermentation. Celle-ci est constituée par une cellule mobile dite "tank biologique" qui voyage sur l'aire de compostage et de stockage au fur et à mesure de l'apport d'ordures.

Le tank biologique est constitué par une sorte de hangar muni de galets de roulement montés sur des rails de chaque côté de l'aire de stockage. Il permet de recevoir les ordures en vase clos et d'en constituer un tas régulier.

La fermentation s'effectue en une quinzaine de jours. Elle est accélérée par une humidification et une aération se faisant de l'intérieur vers l'extérieur du tas. L'automaticité complète de cet ensemble ne nécessite qu'un seul ouvrier qui surveille le remplissage du tank et commande son avancement. Une usine Biotank fonctionne à Annecy depuis I963.

- Procédé PRAT

Ce procédé est utilisé à Toulouse, Perpignan, la Ciotat, Tarbes, etc... Les ordures sont déversées sans aucun triage ni broyage dans des cellules en grillage de 6 m sur 3 et 2,50 m de hauteur, placées dans un hangar.

Elles sont en contact de l'air de la paroi, et, de plus, de l'air est insufflé à la base. Elles séjournent 9 jours dans le récipient puis subissent un triage et un broyage.

- Procédé CIFAL (Humusol)

Une usine est actuellement exploitée à Vierzon. Les ordures sont soumises aux différentes opérations suivantes : criblage mécanique, déferraillage magnétique, puis broyage par un broyeur dont la puissance est de 50 à 60 CV. A la sortie du broyeur, les ordures sont ensemencées, ce qui constitue l'originalité du procédé.

Partant du principe que seules les bactéries cellulolytiques produisent un humus, leur introduction dans les ordures broyées doit accélérer la décomposition de la cellulose et des matières organiques.

Des ferments souches sont cultivés en laboratoire. Ils servent à ensemencer chaque jour une quantité de produit déjà traité dans un bac qui lui-même alimentera en ferments une nouvelle quantité de produit qu'on utilisera pour ensemencer la collecte journalière (5% environ).

La fermentation s'effectue dans les cellules, en 6 à 8 jours. Une tonne d'ordures produit 65 % de terreau.

III - Fermentation en Digesteur

Les digesteurs sont verticaux ou horizontaux.

Quand l'aérobiose y est bien assurée, la fermentation est rapide, au point que l'on compte sa durée en jours et non en semaines. Cependant, dans ces appareils à fermentation rapide, les ordures ménagères n'ont subi qu'un début de fermentation. Le terreau est loin d'être stable. La preuve en est que dans le terreau mis en tas, la température remonte à 60° C environ.

- Biostabilisateur DANO

Utilisé à Pontarlier, en construction à Cagnes - Vence etc... il est très répandu dans le monde.

Le biostabilisateur comporte un long tambour à axe horizontal et à rotation lente continue. Il est légèrement incliné. Les ordures après déferraillage sont introduites par une vis d'Archimède. Le tambour permet une rétention de 3 à 5 jours . Il tourne à raison de 2 à 5 tours/minute. Ce mouvement fait progresser les ordures qui sont aérées par deux rangées d'injecteurs d'air. Les gaz de fermentation s'échappent par des évents.

En sortant du stabilisateur, le terreau passe à travers un crible. On peut éliminer les petits morceaux de verre et autres matières par un traitement ultérieur (broyage, ou élimination balistique).

- Procédé CAREL et FOUCHE

Sur un tapis roulant, le triage des ordures ménagères est effectué à la main, par deux personnes retirant les chiffons, papiers, os, bouteilles etc. . puis on passe au triage magnétique. Les férrailles sont amenées à la presse hydraulique. Les gadoues subissent alors un broyage grossier et sont dirigées vers le digesteur. C'est une tour carrée à 6 étages, avec des parois en bois épais. Le fond de chaque étage est constitué par des grilles basculant de la position horizontale à la position verticale, ce qui permet de faire passer les gadoues en fermentation d'un étage à l'étage inférieur. Le matériel séjourne un jour dans chaque étage. Il est criblé et se présente sous une forme pulvérulente.

Le refus de criblage est remis en fermentation et sert en même temps de levain pour la nouvelle masse d'ordures en début de cycle.

Le pourcentage de terreau produit est de l'ordre de 65 % en poids, par rapport au tonnage.

Des usines Carel et Fouché fonctionnent à Mézières, Soissons Charleville, St Nazaire etc...

- Procédé MULTIBACTO (TRIGA)

Un convoyeur à courroies conduit les gadoues automatiquement à l'installation de broyage. Un aimant rotatif sépare les métaux. Le multi-rotor broie une tonne à l'heure ; les fragments solides tels que le verre, les pierres sont pulvérisés et les matières telles que les textiles, plastiques sont déchiquetées.

Les résidus volumineux , caisses, cartons sont introduits directement dans le broyeur. Le matériel fin est mis à fermenter dans le digesteur Multibacto. Cette tour, d'un diamètre de 6 m et

d'une hauteur de 9 m est divisée en 8 étages et contient un arbre central de broyage muni d'ailerons. Le matériel est continuellement homogénéisé, brassé, et aéré.

Les installations de Baden Brugg (Suisse) que nous avons visitées, sont récentes. Le processus de fermentation est entièrement automatique et très hygiénique. Un dispositif de dépoussiérage maintient une atmosphère propre à l'intérieur et à l'extérieur de l'usine. La main-d'oeuvre est très réduite. Des installations similaires sont en construction à Dinard , Versailles, etc...

IV - Fermentation d'ordures additionnées de boues d'épuration.

- Procédé LUCHAIRE (Longwy - Chambéry)

A l'extrémité d'un trommel, un séparateur magnétique enlève les produits ferreux qui tombent vers une presse hydraulique. Les produits plus volumineux sont dirigés vers un second criblage sur un cribleur vibrant ; les parties fines passent dans les trémies qui sont une particularité de l'installation. Par gravité , les parties de verre, porcelaine et métal non ferreux sont extraites et dirigées vers un broyeur concasseur.

Les boues provenant de la station d'épuration des eaux vannes voisine sont ajoutées aux ordures ménagères broyées dans la proportion de 10 % environ. Le tout est disposé en tas, prêts pour la fermentation, qui dure un mois environ avec un ou deux retournements.

- Procédé JERSEY (9)

Le passage dans un tamis rotatif provoque l'élimination des cendres qui sont brûlées et des poussières qui sont envoyées dans un silo. Après triage manuel du verre, porcelaine et métaux non ferreux, les matières restant sur le tapis roulant passent dans l'une des deux rapes, puis dans un broyeur secondaire. Les poussières et les boues sont mélangées dans des proportions convenables et le tout passe dans le malaxeur à tambour. Après ces opérations, les matières sont transportées par grues jusqu'à la partie supérieure de la tour de fermentation qui comporte 6 étages superposés.

Les cellules se composent d'auges qui, en tournant, font passer leur contenu dans l'étage inférieur. Cette opération s'effectue chaque jour, et la fermentation s'étend sur une semaine. Puis le compost est entreposé pendant 1 ou 2 mois sur des aires de stockage.

V - Thermo-stérilisation

Ce procédé consiste à broyer les ordures préalablement débarrassées des éléments ferreux, par voie magnétique, à les sécher par contact avec des gaz chauds, et à séparer les gaz et les vapeurs d'eau du résidu séché.

Après broyage, les ordures sont dirigées dans les installations de séchage qui comprennent : un cylindre sécheur rotatif dans lequel des gaz chauds arrivent à 700° C pour sortir à 120° C ce qui assure une dessication à 3,5 % d'humidité et une stérilisation parfaite. Le passage des matières ne demande que 3 à 4 minutes. Une série de cyclones sépare lez gaz chauds et la poussière. Un foyer spécial est équipé pour la production d'air chaud. Il peut être alimenté par le produit fini sortant du cylindre sécheur. Dans ces conditions, il reste 40 % du poids des ordures à écouler. L'engrais obtenu est une matière granuleuse qui, mise à l'abri de l'air, peut être conservée indéfiniment (II).

ANNEXE :

ASPECT FINANCIER DU TRAITEMENT DES ORDURES MENAGERES
par fermentation accélérée

Procédé	Population	Investissements	Prix revient en F/ tonne
Carel et Fouche	30.000	1.070.000	8,70
	50.000	1.985.000	7,50
Biotank	30.000	1.300.000	6,00
	50.000	2.500.000	4,80
Dano	30.000	1.170.000	13,00
	50.000	1.700.000	13,00
Humusol	30.000	900.000	14,00
	50.000	1.400.000	6,72
Prat	30.000	500.000	13,64
	50.000	1.000.000	12,50

CHAPITRE III

RECHERCHES BACTERIOLOGIQUES SUR LE COMPOST D'ORDURES MENAGERES

Dans ce chapitre très important du point de vue de l'hygiène, nous avons relaté les résultats d'expériences étrangères. En effet, nous n'avons pas procédé personnellement à l'expérimentation, dans l'impossibilité où nous nous trouvions d'isoler suffisamment les tas inoculés pour "rassurer" le personnel des stations de compostage et les habitants des environs.

Nous nous référons particulièrement aux remarquables travaux de l'Institut de Microbiologie de l'Université Justus Liebig de Giessen dont l'une des tâches est l'étude de la destruction, pendans le compostage des ordures ménagères, des germes pathogènes pour l'Homme, les animaux, les végétaux.

Les expériences américaines, suisses, hollandaises etc.. ont donné de très intéressants résultats.

En France, les recherches faites par VERDIER et KEHREN (88), KEHREN et VAILLANT (40) montrent qu'il n'existe aucun danger d'insalubrité dans les composts préparés par fermentation aérobie des ordures ménagères.

Pour PARTRIDGE (59) "le rôle de l'hygiéniste est de veiller à ce que la transformation s'accomplisse sans qu'il en résulte d'inconvénients pour la santé publique".

Section I - Germes pathogènes pour les hommes et les animaux

STRAUCH (83) rappelait au Congrès du G.IR.O.M. (Essen I962) les recherches pratiquées en I906 sur les ordures provenant d'appartement et contenant des bacilles typhiques, paratyphique et même la bactéridie charbonneuse .... Ces cas sont exceptionnels...

POTTEVIN (66) en 1911, ROCHAIX, SEDAILLAN et SOHIER (74) en 1946, affirment que les ordures ménagères ne présentent pas de danger réel pour la santé publique, si ce n'est par le fait qu'elles attirent les mouches, et les rats, agents vecteurs des maladies contagieuses.

JAAG (30), GOLUEKE et GOTAAS (26) ont la même opinion en ce qui concerne la nocivité des ordures ménagères, et PARTRIDGE (59) cite le rapport de RODELLA au Congrès de Francfort en 1935 : les épidémies de typhus de Gènes (1912-1913) ne s'étendirent pas aux campagnes environnantes, bien que les ordures ménagères y fussent déposées sans précautions.

Ceci est confirmé par l'absence de maladies infectieuses des ouvriers chargés de la collecte des résidus urbains.

Par contre, le danger devient réel lorsque les ordures ménagères sont mélangées aux boues d'épuration (82) ; elles contiennent, autant que les boues brutes, les germes pathogènes pour l'Homme et ceux d'epizooties spécifiques, tels que les virus de la fièvre aphteuse, de la peste porcine, de la rage, les spirochètes des leptospiroses etc...

Pour CHOUSTINE (7) "Les microorganismes pathogènes, inévitablement présents dans les ordures ménagères peuvent y survivre fort longtemps et se faire collecter par les mouches et les rongeurs. Les observations faites à l'Institut Central d'Hygiène d'Erisman ont permis de constater que dans les dépôts d'ordures les bacilles intestinaux survivent pendant plus de trois ans".

Nous ne pouvons décrire en détail les expériences qui furent pratiquées. Nous les résumerons ainsi, en distinguant :

- Les recherches concernant les germes intestinaux particulièrement nombreux dans les boues et les agents d'épizooties,

- Les études sur la destruction, pendant le compostage, de la bactéridie charbonneuse,

- Les germes pathogènes pour les plantes, et qui retinrent l'attention des services de phytopathologie.

I - Germes intestinaux et agents d'épizooties

Le groupe de travail de Giessen étudia la résistance à la chaleur du typhus, du paratyphus humain et animal, du virus de l'érysipèle du porc qui cause l'érysipéloïde de l'Homme, ainsi

que celle du virus de la psittacose, provenant des perruches malades. Tous ces bacilles avaient disparu lors du retournement du tas de compost, la température atteinte était au moins de 55° C.

JAAG (30) cite le cas de poules élevées sur litière de compost et qui ne présentent plus de coccidiose, ou tout au moins sous forme très bénigne, non mortelle et qui procure une longue immunité à l'animal.

A l'usine de traitement de Baden Brugg, où les températures des différents étages du digesteur atteignent 70° C, les recherches sur ESCHERICHIA COLI et PROTEUS VULGARIS furent négatives.

KNOLL étudia, à Giessen, le comportement des germes intestinaux dans le mélange boues + ordures ménagères, traité par le procédé de Baden-Baden (fermentation en tas) et conclua qu'avec une teneur initiale en eau de 40 à 60 % les germes sont détruits par une température de 55 à 60 ° C pendant 14 jours, à condition que le tas ait été retourné au moins une fois (20). Il cite le cas de germes traités à température inférieure (45°C) et encore vivants après 8 mois de compostage.

Les mêmes essais furent réalisés à Heidelberg, dans les ordures traitées à la rape tamis : les germes subsistent dans les zones anaérobies mais ils meurent après retournement des tas.

Cependant, des résultats contradictoires semblent ressortir des expériences pratiquées par BHASKARAN, lors du compostage en fosses, non aérées (procèdé de Bengalore), d'un mélange ordures ménagères + boues. Les conditions étaient anaérobies et la température s'élevait peu au-dessus de 50°C : les ascaris et les trichines étaient tués après deux mois.

SCOTT (79) pense qu'il faut retourner au moins 2 fois les tas pour détruire ENT. HYSTOLYTICA en 13 jours et 3 retournements pour tuer les oeufs d'ASCARIS LUMBRICOIDES en 36 jours.

STONE a introduit 2.000 oeufs d'Ascaris dans les ordures broyées et n'en a plus dénombré que 100 après une semaine.

KAIBUCHI (35) fit le test de survie des Coliformes dans une installation Earp Thomas et constata qu'après 64 heures, le nombre de coliformes décroissait de $4,9 \times 10^{-6}$ à $3,3 \times 10^{-3}$.

POPEL (64) confirma que la plupart des germes perdent leur virulence à des températures d'environ 50° C et les oeufs d'ascaris disparaissent avant les autres.

ROHDE, en collaboration avec OESTERLE, de la Faculté de Médecine de Berlin, conclut après 2 années d'expériences que presque tous les germes sont tués en quelques jours à une température de 50 à 60° C.

2 - La Bactéridie charbonneuse, cependant, est particulièrement résistante à la chaleur.

STRAUCH préconise, pour la détruire, un taux d'humidité de 55 % au moins et une augmentation lente et progressive de la température au-delà de 55 ° C pour favoriser la germination des spores et la destruction du bacille après un temps assez long de compostage (90 jours à 65° C sont nécessaires). Les spores elles-mêmes résistent à la température de 100° C pendant plus d' une heure (KNOLL).

STRAUCH (83) signalait le cas de spores ayant gardé leur pouvoir germinatif après avoir été enfouies 34 ans dans le sol.

3 - D'autres germes pathogènes furent éprouvés.

SCOTT (79) constate qu'une heure à 60° C en milieu humide est suffisante pour tuer le bacille du choléra et de la dyssenterie, et rendre inactif le virus de la polyomyélite.

JANSEN et KUNST (31) ont étudié le comportement des germes dans le compostage à l'air libre (à Wyjster). Ils pratiquèrent leurs expériences en été et en hiver, avec différents micro-organismes :

a - Test d'été :

MYCOBACTERIUM PHLEI (bacille de Timothée , tuberculoïde)

SALMONELLA ABORTUS EQUI, MICROCOCCUS AUREUS et B. SUBTILIS.

b - Test d'hiver :

MYCOBACTERIUM PHLEI, SALMONELLA TYPHI MURIUM, PSEUDOMONAS AERUGINOSA, B. SUBTILIS, ERYSIPELOTHRIX RHUSIOPATHIAE (rouget du porc) et les kystes de HETERODERA ROSTOCHIENSIS.

Tous ces germes étaient tués après 3 mois.

Conclusion

I - Action de la température

Les recherches allemandes ont permis d'établir le tableau suivant (4I).

ZONES MICROBIENNES DE TEMPERATURE DE PUTREFACTION				
Zone	T.° C	Classe de microorganisme	Zone de putréfaction	Qualité hygiénique
I	inf. à 45°C	Mésophiles	Oligothermique	Pleine virulence
II	45 - 55°C	Stade intermédiaire entre mésophiles et thermophiles	Mésothermique B	Décontamination biochimique
III	55 - 65°C	Thermophiles	Mésothermique	Décontamination biophysique
IV	65°C et sus	Régression des thermophiles Début des processus chimiques.	Polythermique	Désinfection thermique

Les zones mésothermiques sont celles qui assurent une meilleure "décontamination" du produit, tout en gardant au terreau sa qualité d'engrais, mais, nous l'avons vu, ces températures doivent persister un certain temps.

2 - Action d'antibiotiques

De nombreux chercheurs affirment que l'élévation de la température n'est pas la cause unique de la destruction des germes. Ils parlent d'"une auto-épuration biologique" par production d'un facteur inhibiteur (STRAUCH, KNOLL, WILEY, etc...).

Les expériences suivantes ont été faites à Giessen, avec des cultures de :

- EBERTHELLA TYPHI
- EBERTHELLA PARATYPHI
- SALMONELLA CAIRO
- SALMONELLA ENTERITIDIS

Des cultures étaient mises en ampoules avant d'être introduites dans les tas en fermentation. D'autres étaient mélangées aux ordures broyées.

Pour chaque série d'expériences, ces germes étaient tués plus rapidement que ceux contenus dans les ampoules. Par exemple, E. TYPHI est détruit en 189 jours (ampoules) et en 79 jours (mélanges) à 45° C.

Les résultats suivants furent observés pour les cultures en ampoules :

Zone II (45 - 55° C)	E. Typhi	détruit en 4 jours
	E. Paratyphi	détruit en 17 jours
	S. Cairo	détruit en 14 jours
	S. Enteritidis	détruit en 12 jours
Zone III (55 - 65° C)	E. Typhi	détruit en 2 jours
	E. Paratyphi	détruit en 4 jours
	S. Cairo	détruit en 6 jours
	S. Enteritidis	détruit en 2 jours

Au-dessus de 65°C tous les germes étaient tués le premier jour.

Section II - Germes pathogènes pour les végétaux

Le danger de contamination des végétaux par le compost d'ordures ménagères, a fait l'objet de nombreuses études ; elles concernent :

- d'une part, l'influence du compostage (température) sur les germes,

- d'autre part, l'influence de l'emploi du compost sur la résistance des plantes aux maladies.

MARTIN (49) de l'Institut de Phyto-pathologie de Giessen expose les résultats des essais pratiqués avec :

- PLASMODIOPHORA BRASSICAE (hernie du choux) en 1960-1961 ; la température de 45° C ne suffit pas à détruire les spores. A 60-67° C les spores ne germent plus après 21 jours. A 70-80° C (procédé Dano) la destruction des spores fut réalisée en 7 jours.

- OLPIDIUS BRASSICAE (parasite du chou et de la salade, provoque les viroses des salades) le parasite est détruit à 70° C.

- RHIZOCTONIA SOLANI (rhizoctoniose de la pomme de terre) les sclérotes sont détruits à température supérieure à 67° C.

- Les bactéries diverses, cause de la nervation du chou, graisse du haricot, flétrissure des tomates etc... ne résistent pas non plus aux températures du compostage.

- Des parasites d'origine animale (nématodes) provoquent certaines maladies chez la plante. L'auteur cite l'anguillule des Solanées (HETERODORA ROSTOCHIENSIS) qui est détruite en 3 mois , à 50-55° C.

Bien que les observations qui suivent soient plus du domaine de l'agrobiologiste que de celui de l'hygiéniste, il est intéressant de rapporter les résultats obtenus par l'emploi du compost, quant à son influence sur la régression des maladies des plantes ; nous ne citerons que quelques exemples :

- SCHUPP (77) a constaté la disparition de l'anguillule des racines de concombres et de tomates en présence de compost.

- D'après HILKENBAEUMER, une certaine quantité d'humus fait diminuer le tachetage des pommes.

- D'après MARKER, l'apport de compost favorise l'élimination de la tordeuse des bourgeons de pin sylvestre.

oOo

CHAPITRE IV

LA DECHARGE BRUTE DES ORDURES MENAGERES

La définition de la mise en décharge brute des ordures ménagères est donnée dans la Circulaire Ministérielle du 14 avril 1962 : "la décharge brute revient à déverser les ordures sur lé sol, dans un trou qui sera généralement une ancienne carrière sèche, sans prendre de précautions spéciales, ou tout au moins sans précautions suffisantes".

Ce procédé d'élimination des ordures ménagères est très répandu, notamment dans les petites agglomérations. Les ordures sont déversées dans une dépression, à moins qu'elles ne forment un monticule (les anciennes "voiries") et sont abandonnées à elles-mêmes.

On connaît les multiples inconvénients qu'elles représentent pour le voisinage : poussières, papiers, odeurs, etc... une phase de fermentation anaérobie existe dans les couches profondes et produit du méthane, de l'hydrogène sulfuré, de l'anhydride phosphoreux.

Nous examinerons plus loin, lors de l'étude de la méthode dite de "décharge contrôlée", d'autres inconvénients, notamment les incendies, la présence de rats, de mouches, de corbeaux.

Ces inconvénients ont fait inscrire les décharges brutes dans la Première Classe des établissements dangereux, insalubres ou incommode (Décret du Ier avril 1964) qui comprend les Etablissements industriels et commerciaux qui doivent être éloignés des agglomérations (R-169-2°).

La circulaire du 14 avril 1962 précise : "Bien que n'étant pas formellement interdite, la décharge brute pouvant être autorisée par le Préfet après enquête et avis du géologue, tout au moins lorsqu'elle ne constitue pas une annexe d'une exploitation agricole, ce

mode d'évacuation ne peut être envisagé que dans le cas où l'on disposera d'un emplacement dans un lieu desert très éloigné de toute habitation, ce qui entraîne, d'ailleurs, des frais de transport très élevés lui retirant tout intérêt. Dans la plupart des cas, les inconvénients signalés conduiront à refuser l'autorisation , et il y aura lieu de réprimer l'ouverture de décharges brutes non autorisées ou clandestines".

Cependant, il faut reconnaître , avec JOULOT (34) que la décharge brute ne doit pas être systématiquement condamnée, parce qu'elle est peu onéreuse, et permet la récupération de terrain pour l'agriculture.

I - Aménagement d'une décharge brute

ou décharge libre.

JOULOT (34) en fait une description minutieuse et recommande ne pas dépasser une épaisseur de 3 mètres pour la première couche, afin de ne pas retarder sa consolidation.

En général, l'aménagement d'une décharge brute est identique à celui d'une décharge contrôlée que nous examinerons plus loin. La différence est que la décharge brute n'est pas recouverte par une couche de terre inerte.

2 - Applications de la décharge brute

Des exemples de décharges brutes, ou décharges libres, pratiquées sur une grande échelle, méritent de retenir notre attention.

Cette pratique a permis d'une part, de récupérer pour l'agriculture des terres incultes, ou d'obtenir du terreau par simple fermentation à l'air libre sans installation d'usines.

A. JOANNON (32) décrit l'expérience de fertilisation de la crau d'Arles, qui était un terrain de 40.000 hectares de superficie, farci de cailloux qui représentaient la moitié du volume total. A la fin du siècle dernier, on y apporta les gadoues de Marseille. Pendant la fermentation , on triait et criblait les ordures et le terreau humifère était ensuite répandu sur le sol "Par ce procédé mis en oeuvre à partir de 1887, plus de 4.000 hectares avaient été récupérés en moins de 20 ans et cette transformation dure...".

Notons que le prix de revient du traitement des ordures ménagères de Marseille dans ce cas particulier était de 12,30 f la tonne en 1960, les frais de transport par fer représentant à eux seuls, 6,90 f la tonne.

La Mission O.E.C.E. (55) a cité plusieurs exemples observés en Allemagne, notamment près de Hambourg ou 4.000 m^3 d'ordures sont utilisés chaque année par 50 horticulteurs des communes voisines pour l'amélioration de sols sableux.

Une autre application intéressante de la fermentation non contrôlée des ordures, sans traitement préalable, a été faite à Wijster, en Hollande. En 1932, le gouvernement hollandais a crée un organisme semi-gouvernemental V.A.M. , ayant pour objet la transformation des ordures en compost. La V.A.M. envoie 150.000 tonnes par an de résidus à Wijster. Le transport s'effectue dans des wagons spéciaux, clos, d'une capacité de 100 m^3 dont le déchargement s'effectue par ouverture des parois latérales.

L'aire de compostage comprend quatre viaducs sur lesquels s'arrêtent les trains. Le déchargement de 2.000 m^3 d'ordures s'effectue en moins d'une demi-minute. Après quatre mois de fermentation, le produit est mûr. A cause des inconvénients qu'une telle décharge peut présenter pour le voisinage, il est bien évident qu'une installation de ce genre ne peut être située qu'en un endroit isolé des habitations.

En France, de grandes villes telles que Chateauroux (43.000 h) Cherbourg (40.000 h) Colmar (46.000 h) Montpellier (120.000 h) Orléans (88.000 h) St Etienne (200.000 h) pratiquent la décharge libre.

oOo

CHAPITRE V

LA DECHARGE CONTROLEE DES ORDURES MENAGERES

I - Données générales et définitions

Pour l'élimination de leurs déchets ménagers, de grandes villes françaises pratiquent la méthode dite de "décharge contrôlée". Citons notamment : Bordeaux (285.000 h) Le Havre (175.000 h) Strasbourg (224.000 h) Lille (200.000 h) Angers (105.000 h) Mulhouse (106.000 h) Amiens (108.000 h), etc....

Actuellement, à Paris, 450.000 tonnes par an sont envoyées en décharge contrôlée. Ce procédé est utilisé couramment par des cités de moindre importance.

"Une décharge est "contrôlée" lorsque des dispositions sont prises pour que son épaisseur, sa compacité et une couverture de terre permettent d'y réaliser de bonnes conditions pour une fermentation aérobie rapide et de mauvaises conditions pour la reproduction des insectes et la subsistance des rats" (Circulaire Ministérielle du 14 avril 1962).

Cette méthode était depuis longtemps appliquée en Amérique et constituait la "Sanitary Fill" puis elle fut reprise et perfectionnée en Angleterre, à Bradford. Depuis, on traite ainsi 60 % des déchets anglais.

Une enquête du Ministère de la Santé britannique faite en 1956 sur 453 districts (local authorities) donna les résultats suivants :

- 323 (17.233.132 h) pratiquaient la décharge contrôlée,
- 35 (2.363.000 h) pratiquaient l'incinération,
- 93 (12.091.202 h) pratiquaient les deux procédés.

On observe actuellement une augmentation du nombre d'usines d'incinération dans les projets de municipalités.

L'American Public Works Association, en 1956, publia le Rapport d'une enquête faite sur 851 cités américaines :

- 482 utilisaient la décharge contrôlée
- 124 utilisaient l'incinération
- 2 utilisaient le broyage
- 5 utilisaient le rejet en mer
- 261 utilisaient la décharge brute.

De nombreuses villes ont, depuis cette date, adopté l'incinération ou la fermentation pour le traitement de leurs résidus.

Une étude faite sur 1.000 décharges américaines les a fait classer comme suit :

Classe	Nombre de ville	Pourcentage
A	372	37
B	284	29
C	169	17
U (unknown)	175	17

Classe A - effectuée sans inconvénient et sans risque pour la santé publique, recouverte chaque jour et suffisamment; on n'y brûle aucun déchet.

Classe B - sans inconvénient pour la santé publique, mais l'emplacement permet une modification dans le traitement. Certains déchets sont brûlés et la décharge est couverte 3 fois par semaine.

Classe C - Cette technique permet le développement des nuisances et présente des risques pour la santé publique : mouches, rats, odeurs etc...

Ce procédé est utilisé en France depuis 1935. Il y a été introduit par l'Ingénieur Général PARTRIDGE qui, avec la Société T.I.R.U.(Traitement Industriel des Résidus Urbains) a réalisé la première décharge contrôlée à Liancourt St Pierre, dans l'Oise. Avant d'être entreprise, cette opération a donné lieu à un examen approfondi par le Conseil Départemental d'Hygiène de l'Oise, dans sa séance du 19/12/1934.

Le procès verbal de cette séance et la note annexe de PARTIDGE (éditions Berger Levraut, Nancy 1936) constituent la charte de la méthode.

La place réservée à la décharge contrôlée peut paraître exagérée, mais cela se justifie, d'une part, par l'emploi très général de cette méthode dans les grandes agglomérations, et surtout dans les petites communes, comme seul moyen d'élimination des ordures ménagères où à côté des usines de traitement comme accessoire, lors d'une panne d'usine, ou pour l'évacuation de certains résidus ne pouvant être traités autrement ; d'autre part, à cause des griefs que l'hygiéniste a contre la décharge contrôlée source de nuisances, et qui doivent être examinés ici.

2 - Problèmes posés par la méthode dite de "Décharge contrôlée"

a - Choix du terrain

Rappelons les principes élémentaires qui doivent guider ce choix : il faut en effet que la décharge ne puisse contaminer ni les cours d'eau, ni les nappes souterraines. On choisira de préférence d'anciennes carrières que l'on comblera. Il est nécessaire que le terrain se trouve près d'une provision de terre inerte qui servira de couverture aux immondices.

Il y a nécessité absolue de ne faire aucune exploitation à l'intérieur de carrières, ceci à cause du danger de diffusion des gaz de fermentation.

Superficie du terrain : il faut prévoir une étendue de 3.000 à 6000 m^2 par 10.000 habitants pour une élévation de 2,50 m.

Les auteurs américains appliquent des formules complexes (53) pour arriver à ces résultats. En Amérique, on tolère les décharges près des étangs et en bordure de mer, sur un emplacement périodiquement recouvert par la marée (14).

En France, cette pratique est interdite .

La décharge contrôlée est classée en deuxième classe des Etablissements dangereux et insalubres (R. 169 - 1°). Son éloignement des habitations n'est pas rigoureusement imposé. Mais pour ouvrir un dépôt à but industriel, ou commercial, il faut faire une demande d'autorisation et l'enquête d'un géologue est nécessaire.

Conditions géologiques des décharges contrôlées d'ordures ménagères.

ABRARD (1), Professeur de Géologie au Muséum d'Histoire Naturelle, donne une classification que nous résumerons ainsi :

I - Décharges sur calcaires fissurés

Ils ne sont pas filtrants. Il convient de ne pas établir de décharge sur eux lorsqu'ils renferment un réseau aquifère à l'aval des dépôts. Le risque de nuisance est considérablement réduit si la nappe est renfermée par une assise sableuse filtrante.

2 - Décharges sur sables non alluvionnaires

Si la couche est suffisamment épaisse, l'épuration des eaux provenant des décharges est parfaite . De plus, les sables étant perméables il n'y a pas de stagnation des eaux, et la fermentation aérobie se poursuit.

3 - Décharges sur marnes ou argiles

Celles-ci sont imperméables à condition que la couche soit continue. Il y a formation possible d'un effluent à la base, qui pourra s'écouler. La fermentation est anaérobie. Dans ces cas, il faut tenir compte du pandage des couches, et réserver un périmètre de protection d'au moins 250 m de rayon à l'amont des puits.

4 - Décharges sur alluvions sèches

Les anciennes sablières peuvent devenir des décharges d'ordures ménagères. ABRARD fait cependant remarquer que presque toujours la nappe phréatique se confond avec la nappe alluviale et est à faible profondeur. De telles décharges seront donc, elles aussi, tenues à 250 m au moins des captages d'eau potable.

5 - Décharges sur alluvions en eau

Les anciennes sablières peuvent présenter une hauteur d'eau de 0,50 à 3 et 5 m baignant la partie inférieure de la formation. C'est le siège de fermentation anaérobie et la réduction des sulfates (SPOROVIBRIO DESULFURICANS) produit de l'hydrogène sulfuré. Des recherches effectuées en Angleterre, il résulte que le développement de ces bactéries est très ralenti par acidification (SO_4H_2) diminuant le pH de l'eau.

Il faut procéder au remblaiement rapide et compartimenter l'ouvrage par des digues.

6 - Décharges dans l'eau

Il est intéressant de connaître l'origine de l'eau : il peut s'agir d'eau de ruissellement sur marne ou argile. Alors , le risque de pollution est faible à moins que le trop plein ne s'écoule dans un effluent qui entre en contact avec l'assise perméable.

Il peut s'agir aussi d'un fond d'exploitation en eau, sur formation perméable sable ou calcaire fissuré : c'est la nappe phréatique elle-même.

Les risques de pollution sont sérieux, d'où nécessité d'éloigner ces décharges des lieux de captage d'eau, et de remblayer avec des couches de matières inertes, telles que gravas de démolition. L'étude du géologue doit être complétée par l'examen de la perméabilité des parois des décharges. En effet, des parois sableuses ou fissurées peuvent permettre l'écoulement des eaux ou des gaz de fermentation.

Il arrive bien souvent que l'on ne trouve pas le terrain de décharge à proximité de la ville : le problème du transport des ordures ménagères se présente alors et son prix changera l'aspect financier de la méthode.

b - Constitution des couches

Des conditions d'élaboration de ces couches dépendront , en partie, le bon déroulement de la fermentation aérobie.

Nous retrouvons ici les facteurs humidité, aération et température. La température s'élève à 50° C et même 70° C. Si l'aération est insuffisante la température décroît et les germes anaérobies entrent en action.

- Humidité : Une certaine quantité d'eau est nécessaire pour véhiculer les bactéries de la fermentation. Si le taux d'humidité est trop élevé, l'aération se fait mal et l'anaérobiose prédomine.

On peut agir sur ces deux facteurs :

- Pour l'aération, et pour un exès d'humidité, en modifiant la hauteur des tas, leur tassement ou l'épaisseur de la couverture.

- Pour l'humidité, on pratique l'arrosage surtout en été, avec des solutions à base d'insecticide.

Au Congrès d'Essen (Mai 1962) PARTRIDGE (58) a décrit minutieusement le procédé :

" 1 - Les ordures sont mises en décharge par couches successives d'épaisseur modérée (1,50 m à 2 m), une nouvelle couche n'étant déposée que lorsque la température de la couche précédente s'est abaissée au voisinage de la température du sol naturel. Il est donc indispensable de commencer l'opération par le niveau inférieur".

Il faut toutefois souligner que depuis ces dernières années, la densité des ordures ménagères a diminué de moitié (0,35 environ) On peut considérer, dès lors, qu'une hauteur de 3 m pour les couches est une bonne moyenne.

A Dusseldorf , on a observé que des ordures mises en tas sur une grande épaisseur n'étaient pas transformées à 4 mètres de profondeur après 23 ans.

En Amérique (53) on a constaté de même que, après 25 ans, on retrouvait dans les décharges des matières inchangées, particulièrement la cellulose.

" 2 - Les couches sont exactement nivelées et limitées par des talus de pente modérée (45° au plus)".

A Croydon, la Mission O.E.C.E. (55) a étudié la méthode des "baies alternées" qui y est pratiquée sur terrain plat. Elle semble onéreuse à première vue, car elle impose l'emploi d'une pelleteuse puissante, mais elle permet de trouver sur place la terre de couverture.

" 3 - Le dépôts doit être compact mais sans excès, ne pas comporter de vides nombreux ou importants et en particulier de vides formant cheminées ".

PARTRIDGE fait remarquer que dans un dépôt fait à la main, la température, à 0,70 m de profondeur, atteint 45 à 71°C en 3 à 14 jours, alors que dans un dépôt exécuté au bull-dozer, les températures sont souvent un peu plus basses et il arrive qu'on ne dépasse pas 30° à 40° C ce qui montre qu'il faut éviter un tassement successif".

" 4 - Le dépôt (y compris les talus) doit être le jour même recouvert de terre ou de matériaux convenables d'une épaisseur suffisante appelée couverture, qui aura de 0,10 à 0,30 m d'épaisseur environ suivant la cohésion des matériaux et le soin apporté à leur tassement".

Lorsqu'il s'agit du comblement d'une carrière, il faut prendre soin de ne pas "coller" les ordures contre la paroi afin d'éviter la dispersion des gaz de fermentation à travers la masse de terrains voisins.

c - Couverture

La couverture de terre doit éviter le dégagement des odeurs et doit protéger le tas contre les mouches et les rats.

Le problème de couverture est difficile à résoudre, car la quantité de terre inerte doit représenter 20 à 30 % de celle des ordures ménagères. Les spécialistes recommandent d'éviter la terre argileuse qui se fendille par temps sec; et préconisent l'emploi de sable.

Le terrain doit être entouré d'une clôture de grillage assez élevée (2 m de haut) pour éviter la dispersion des papiers.

d - Cas particulier de la décharge en eau

"L'utilisation d'une ancienne carrière est interdite par les règlements sanitaires départementaux. La décharge dans l'eau est également interdite par ces règlements et sans exclure toute possibilité de dérogation, notamment et sous réserves de précautions tout à fait spéciales dans le cas de terrains simplement marécageux, comporte trop de risques d'insalubrité et d'incommodité pour être admise" (Circulaire du 14 avril 1962).

Il est des cas où cette dérogation est accordée, mais la mise en place d'une telle décharge nécessite de grands moyens et une discipline stricte.

LANCHIER (43) décrit ainsi les principes de base : on divise le volume d'eau par des digues de terre en volumes fractionnés tels que l'exploitation normale de la décharge permette la mise hors d'eau d'une alvéole rapidement (pas plus de deux mois) et en hiver seulement. La digue doit surplomber la nappe d'eau de 2 m au moins. Il faut de plus constituer un écran de terre étanche le long des berges naturelles. Il ne faut pas exploiter dans plus de 5 m d'eau et le

fond de la décharge doit démarrer à la hauteur de la digue. Au fur et à mesure de l'avancement du ramblai. le niveau de l'eau monte.

L'effet d'éponge se faisant lentement, la pression sur la digue devient importante. Il faut renforcer la digue pour éviter une rupture.

3 - Inconvénients de la décharge contrôlée

a - Pollution des eaux

Les adversaires de cette méthode présentent souvent comme un danger certain la pollution des eaux par l'effluent des décharges. Les hygiénistes attirent l'attention sur la possibilité de cette pollution et les précautions à prendre pour l'éviter.

Nous avons mentionné plus haut la nécessité d'une enquête géologique, aux conclusions de laquelle il faut se référer avant d'établoir la décharge. L'infiltration des eaux de pluie est lente dans la décharge. De plus, la température résultant de la fermentation provoque une évaporation intense. Il est permis de penser, avec le Professeur ABRARD que la quantité d'eau qui sort des dépôts ne dépasse pas en moyenne le 1/10e des précipitations qu'ils ont reçues, une partie seulement de cette eau parvenant aux nappes souterraines.

L'Université de Californie a étudié le degré de saturation en eau des ordures ménagères (53). Les calculs théoriques ont donné pour résultats : 65 gallons par tonne (1 gallon = 4 litres 1/2). Mais les papiers absorbent 250 à 300 % de leur poids d'eau. Une décharge peut donc absorber beaucoup d'eau sans être saturée. C'est ainsi qu'à San Diego, on a calculé que 385 gallons d'eau étaient nécessaires pour saturer une tonne d'ordures.

Si la pollution microbienne est peu probable, par contre, l'effluent peut contenir des résidus chimiques ou organiques dissouts. PARTRIDGE (59) signale que les eaux qui s'écoulent du dépôt sont caractérisées par une forte demande biologique en oxygène (D.B.O.) qui peut atteindre 1.000 ppm (milligrammes par litre), une forte dureté due à la dissolution de la chaux par l'acide carbonique dégagé par la fermentation, la présence d'azote ammoniacal et les sels de fer. L'atteinte portée aux eaux souterraines peut donc être grave et elle est d'autant plus à considérer qu'elle peut persister pendant très longtemps.

Il faut éventuellement surveiller l'augmentation du taux des Nitrates dans l'eau de la nappe, comme le recommande la Circulaire du 15 mars 1962, relative aux Instructions Générales concernant les eaux d'alimentation. La proportion tolérable de nitrates est de 2 mg par litre.

Il y a quelques années, une expérience intéressante a été pratiquée au Mureaux, par le Service du Contrôle des Eaux (PARTRIDGE (59)). Elle consistait à prélever des eaux de percolation d'une décharge d'ordures ménagères et à procéder aux analyses chimiques et bactériologiques. Les résultats permirent de dégager les observations suivantes :

a - Point de vue chimique : odeur putride provenant de combinaisons ammoniacales d'acides gras.

b - Point de vue bactériologique : Pas d'espèces pathogènes non sporulées, pas d'anaérobies en proportion anormale, prédominance des bactéries thermophiles avec oxydation des polyoses complexes, des matières cellulosiques et orientation vers la production de matières humiques.

Une deuxième expérience (PARTRIDGE et GUILLERS) a été réalisée pour suivre l'altération de la nappe souterraine située sous la décharge. Le substratum de la décharge constitué par des sables et graviers surmontant la craie était particulièrement filtrant. La pollution chimique de la nappe a été étudiée au moyen de puits creusés en amont (comme témoin) et en aval de la décharge. A 5 mètres du dépôt, la souillure est manifeste : minéralisation élevée, pH = 6,8, nitrification nulle, mais flore fécaloïde et Coli absents. La flore totale qui était de I.600 germes à l'amont est passée à 19.000 à l'aval. A 100 m, l'ammoniaque disparait, la nitrification est intense: 12 mg N nitrique, pH normal = 7,2 .

Les Américains (53) citent cependant le cas de Coliformes qui ont été trouvés dans la nappe souterraine résultant du passage des bactéries à 300 m de profondeur.

A Mulhouse, on a observé un cas de contamination des nappes souterraines (47).

Les cas n'en demeurent pas moins très rares, et les risques de pollution sont certes plus nombreux lorsque la nappe est située sous des champs où l'on répand de grandes quantités de fumiers ou d'engrais naturels.

b - Gaz de fermentation - odeurs

A côté de l'hydrogène sulfuré, provenant de la décomposition anaérobie, d'autres gaz peuvent s'échapper des décharges, notamment CH_4 , CO_2 etc...

Une expérience simple consiste à enfoncer un tuyau dans la masse : les gaz qui s'échappent sont inflammables. Ces gaz peuvent être explosifs s'ils sont comprimés dans un espace restreint . C'est

ainsi qu'un mélange détonnant s'est formé à l'intérieur d'un baraquement échafaudé sur une décharge : une étincelle y mit le feu (53).

Pour ces raisons, les bâtiments érigés sur les décharges doivent être isolés du sol : une couche de scories permettra une diffusion uniforme des gaz.

Pour détruire les odeurs, on asperge les tas de solutions de crésyl, ou d'orthodichlorobenzène ou d'alamask etc...

c - Incendies

Les causes d'incendies sont généralement accidentelles, imprudence d'un fumeur, étincelle d'un camion. cendre mal éteinte, etc....

Quelle que soit l'origine du feu, il provoque des fumées nauséabondes.

LISSOT (46) signalait le cas d'une petite ville située au bas d'une vallée sèche. Les fumées provenant d'un dépôt d'ordures situé sur la hauteur étaient, la nuit venue, rabattues vers l'agglomération et l'odeur gênait considérablement les habitants.

Le feu de surface est spectaculaire et s'éteint facilement par l'eau pulvérisée. Le feu en profondeur, enflammant les gaz de fermentation, est difficile à maitriser. L'eau est inopérante, il faut, si possible, extraire au tracto-pelle, la partie qui brûle. Si le feu est découvert trop tard, cette méthode n'est plus applicable ; il faut alors recouvrir de terre inerte la partie qui brûle, et s'abstenir, pendant plusieurs semaines, de déverser de nouvelles ordures sur cette partie de la décharge.

On a parfois utilisé de la neige carbonique pour éteindre les incendies de décharges.

d - Rats, mouches, corbeaux

- Rats

Les déchets de cuisine attirent les rats toujours nombreux dans la campagne, Mais ils s'attaquent aussi à d'autres détritus : bois, cartons etc... Ils sont porteurs de nombreux germes pathogènes pour l'Homme (SALMONELLA) , leurs parasites sont vecteurs d'agents pathogènes (TYPHUS, PESTE etc...) (7I) . Il est donc indispensable de les détruire (45).

Une décharge d'ordures ménagères doit être constamment dératisée. Des raticides gazeux peuvent être employés mais en raison des dangers que présente leur emploi, il est recommandé de confier cette opération à des Entreprises spécialisées. Elles emploient notamment l'acide cyanhydrique, l'anhydride sulfureux, la chloropicrine.

Ces produits sont très dangereux pour l'homme , et font l'objet d'une règlementation sévère.

Les raticides d'ingestion sont d'un emploi plus facile, Ce sont notamment : l'anhydride arsénieux le phosphore, le fluoracétate de Na, la strychnine, la poudre de scille rouge, l'α Naphtyl thiourée (antu) ou des substances douées de propriétés anticoagulantes telles que le coumafène ou le coumachlore (tomorin).

L'emploi des raticides est limité par leur toxicité pour l'Homme et il est strictement règlementé.

FABRE (18) considère que les anticoagulants raticides présentent un certain danger pour les animaux domestiques. De même, le fluosilicate et l'antu sont toxiques pour le bétail (I9 - FABRE et TRUHAUT) et WARD (95).

Il est interdit de répandre à la volée des grains empoisonnés. On doit les disposer à l'entrée des terriers et supprimer les cadavres.

- Mouches et insectes

La lutte contre les mouches doit être intense , particulièrement d'avril à octobre.

On a cherché à identifier les espèces présentes sur les dépôts d'ordures. On a souvent trouvé MUSCA DOMESTICA (Van Vuren-87) MUSCA VICINA (78).

Le Service de la Protection des Végétaux de Clermont-Ferrand a isolé : MUSCINA STABULEUS et CERATITIS MUSCINA (mouche des fruits) et LUCILIA CAESAR.

KEHREN (39) a observé que la plupart des larves étaient contenues dans les poubelles, avant la mise en décharge des ordures ménagères. Les mouches des fruits sont contenues dans les fruits contaminés et rejetés en décharge.

HENNEQUIN (29) spécialiste de la lutte contre les insectes au C.N.R.A. attribue en grande partie la responsabilité de la contamination des fruits aux dépôts d'ordures.

Les insecticides les plus couramment employés sur les décharges sont des insecticides de contact, comme le D.D.T. et sont à base de Malathion (Zithiol) de Parathion (Toupan) de Lindane (isomère Y de l'hexachlorocyclohéxane) Aladrine, Dieldrine etc...

Il est bon de changer d'insecticide pour éviter l'accoutumance (I2).

Certains mélanges insecticides contiennent des anticryptogamiques (par exemple le Zinèbe, organo zincique, dans le Toupan). Il serait peut-être intéressant d'étudier l'action de tels composés sur le déroulement de la fermentation, comme le pense FABRE (17) :

" Il serait bon aussi de ne pas négliger les conséquences lointaines de traitements répétés sur la fécondité du sol, et d'envisager, dans chaque cas, l'action sur la microflore , sur les vers... toutes questions qui pour chaque produit demanderaient des études longues et difficiles".

- Corbeaux

Certains appâts peuvent être utilisés. Ils sont à base de Chloralose (21) . A 5 °/oo dans du maïs, ils provoquent l'engourdissement des oiseaux, mais la vente est règlementée (Arrêté du 7 octobre 1950) une autorisation du Maire et de la Fédération départementale des chausseurs est nécessaire.

4 - Avantages de la décharge contrôlée

La décharge contrôlée permet surtout de transformer des terrains vagues ou d'anciennes carrières pour les rendre à la culture ou à tout autre destination. On peut aussi utiliser le terreau produit pour l'amendement des sols.

a - Aménagement de terrains de sports, jardins public, etc..

Il est bon d'attendre au moins 2 ans avant d'aménager la décharge car les tassements dus à la fermentation sont parfois inégaux.

Pour planter des arbres fruitiers, il est indispensable d'attendre 8 à 10 ans, selon les espèces.

Bien que le drainage des anciennes décharges soit assez difficile, on peut cependant les aménager en terrain d'entraînement sportif.

En tant que terrain industriel, l'ancienne décharge pourra

être aménagée avec des bâtiments montés sur semelles de béton. Les constructions avec fondations ne sont pas possibles avant une trentaine d'années, les gaz nocifs pouvant se dégager lors du terrasement.

b - Production de terreau

Lorsque la fermentation est achevée, le terreau est criblé, broyé et utilisé en agriculture pour alléger les sols trop lourds et les rendre plus perméables.

5 - Aspect financier

Un avantage certain de la décharge contrôlée est qu'elle ne nécessite pas un capital important pour le premier établissement.

Une enquête réalisée en 1960 (Revue I.V.F. avril 1963) révèlait des chiffres variant de I,77 à 8,30 à la tonne.

LOUDET (47) établit le prix de revient à la tonne du traitement pour une ville éliminant 40.000 tonnes par an :

PI (frais Ier établissement) + P2 (frais annuels) = 4,37 (au I/I/63).

6 - Conclusion

La décharge contrôlée n'est hygiénique que si l'on applique scrupuleusement les règles édictées. Or, il est rare qu'elles le soient réellement : soit par négligeance, soit par économie....

On peut cependant affirmer que la décharge contrôlée demeure une méthode très valable d'évacuation des ordures ménagères. Mais il faut lui apporter autant de soins qu'à tout autre moyen de traitement. De plus, il est indispensable de surveiller le déroulement de la fermentation par des contrôles scientifiques.

oOo

Les recherches chimiques et microbiologiques qui sont exposées dans cette deuxième partie de notre travail ont été réalisées au Laboratoire de Botanique de la Faculté Mixte de Médecine et de Pharmacie de Lille, sous la direction de Monsieur le Professeur DEHAY, avec l'aide de Monsieur le Professeur GEHU
de Madame GEHU (chef de travaux pratiques)
et de leurs collaborateurs.

* * *

Les expériences sur la fermentation à l'air libre ont été pratiquées sur les terrains des Etablissements GONDARD, (La Ferté sous Jouarre), et les recherches sur le terreau ont été faites dans les installations industrielles CAREL & FOUCHE, TRIGA & BIOTANK.

Nous adressons nos vifs remerciements à Messieurs les Directeurs de ces entreprises et à leurs collaborateurs pour leur accueil bienveillant et l'aide efficace qu'ils ont bien voulu nous apporter dans notre travail.

DEUXIEME PARTIE

INTRODUCTION

Comme nous l'avons vu, les résultats relatifs à la microbiologie des ordures ménagères n'ont pas été effectués dans des conditions bien définies, ce qui explique certaines divergences. C'est pourquoi , il nous a paru intéressant de reprendre l'expérimentalement cette question, et nous avons procédé à l'étude de la microbiologie en laboratoire (chapitre I) , et de la fermentation à l'air libre (chapitre II), ou dans des installations industrielles, (chapitre III), d'échantillons d'ordures ménagères.

Il convient , en effet, de replacer les microorganismes dans leur milieu naturel, L'étude de chaque phénomène pris isolément ne peut s'appliquer à la chaîne de réaction qui se produit effectivement.

Pour WINOGRADSKI, "le fonctionnement de la microflore ne devrait pas être envisagé comme la somme des activités individuelles, mais comme le travail d'un collectif auto-réglable".

Nous avons donc suivi, parallèlement, l'évolution physico-chimique de la matière en laboratoire et à l'air libre.

Certaines conditions influencent la nature et le comportement des microorganismes.

Nous avons étudié l'influence des facteurs suivants :

- pH
- Granulométrie
- Humidité
- Aération.

oOo

CHAPITRE I

EVOLUTION CHIMIQUE ET MICROBIOLOGIQUE D'UN ECHANTILLON D'ORDURES MENAGERES (Etude Expérimentale en Laboratoire)

L'humification et la minéralisation étaient autrefois mises en évidence par voie chimique.

L'étude des différents phénomènes sous l'angle des principales fonctions microbiologiques est beaucoup moins connue.

Modalités de l'expérience

Homogénéisation, condition de la valeur de l'expérience:

Un échantillon d'ordures (50 kg environ) broyées deux fois fut prélevé pour toute l'expérience en laboratoire.

- Une partie (ordures fraîches) fut pulvérisée immédiatement au mixer, en laboratoire, et mise en expérimentation.

Le reste du matérail fut conservé à la température de 10° C et aéré par des tubes perforés traversant la masse.

- Une deuxième partie de l'échantillon fut prélevée après 1 mois et demi et subit la même homogénéisation.

- Enfin, après trois mois, on effectua la dernière série de recherches, sur le reste de l'échantillon.

Technique

Les différentes séries d'expériences furent pratiquées aux températures de 5° C - 25° C - 50 ° C.

A 50° C, on évalua l'activité des thermophiles,

A 25°C, celle des thermophiles tolérants et des mésophiles. Cette température est la température optimale pour la plupart des germes du sol.

A 5° C seuls les germes psychrophiles sont actifs.

La figure I résume ces différences d'activité et permet d'établir les rapports :

- Thermophiles/Mésophiles = T/M
- et Psychrophiles/Mésophiles = Ps/M

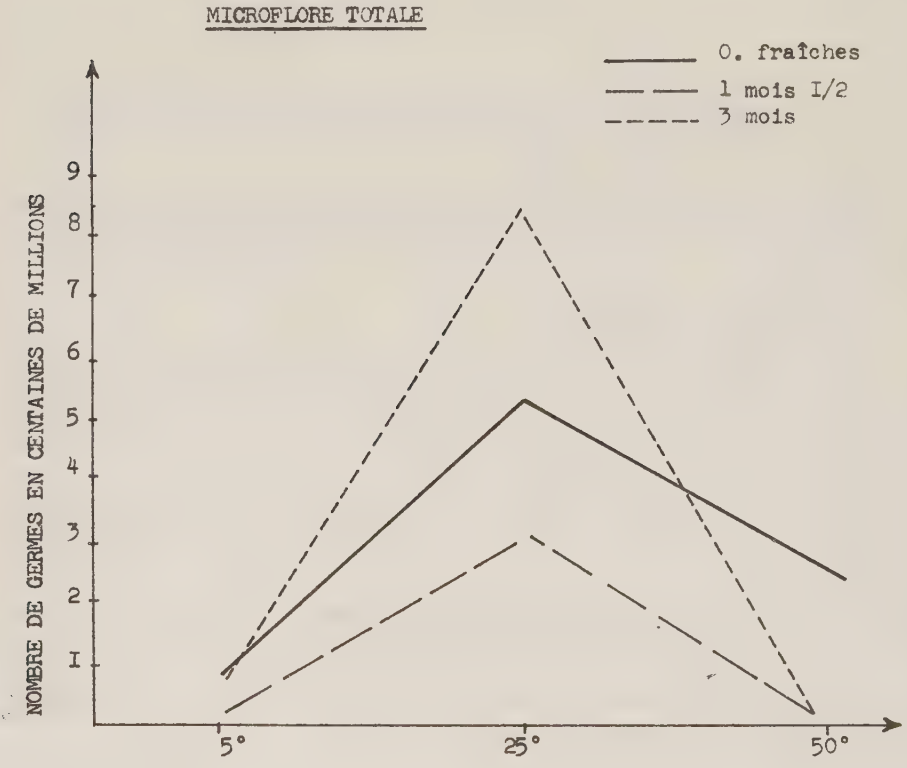


Figure I

A - ANALYSE PHYSIQUE

a - le PH

La mesure du pH est une première donnée importante en Micro-biologie. En effet, les bactéries que l'on trouve dans un terreau cultivent dans les limites de pH bien déterminées : les AZOTOBACTER se rencontrent dans les milieux de pH 5,5 à 8, les CLOSTRIDIUM de 5 à 8, les Champignons, par contre, présentent une grande tolérance vis à vis du pH et son capables de cultiver à partir de pH 2 jusqu'à pH 11. Les ACTINOMYCETES peuvent se rencontrer de pH 4 à pH 8,5 .

Le pH initial des ordures ménagères est compris entre 5 et 7, à moins que les déchets ne contiennent beaucoup de substances alcalines (cendres dans les ordures d'hiver).

Mesure du pH

Elle a été faite avec un pH mètre à électrodes de verre.
5 g de terreau homogénéisé sont broyés au mortier avec 12 ml, 5 d'eau distillée et refroidie (pour éliminer le gaz carbonique).
On verse la suspension ainsi obtenue dans la cuve où plongent les électrodes et on lit immédiatement.

Résultats

	Ordures Fraîches :	Après 1 mois 1/2	Après 3 mois
pH	6, 95	7, 65	7, 80

	Ordures séchées et pulvérisées :	Après 1 mois 1/2	Après 3 mois
pH	7, 9	8	8

b - Humidité

La mesure du taux d'humidité permet de ramener tous les résultats obtenus à un poids donné de matières sèches et d'avoir ainsi des termes de comparaison plus sûrs des matières d'humidité différente.

Elle se fait en mettant à dessécher à l'étuve à 115° C jusqu'à poids constant, un poids donné d'échantillon de terreau.

Résultats

	Ordures fraîches :	Après I mois I/2	Après 3 mois
H_2O	24,07 %	25,25 %	19,17 %

(Nous étudierons dans le chapitre suivant, l'influence du taux d'humidité sur le processus de compostage des ordures ménagères).

B - ANALYSE CHIMIQUE

Les microorganismes utilisent l'oxygène, se nourissent de matières organiques et absorbent l'azote, le phosphore, une partie du carbone, ainsi que les autres substances nutritives qui servent à élaborer leur protoplasme cellulaire.

Une grande partie du carbone sert de source d'énergie. Il est brûlé et rejeté sous forme de CO_2 (en général , 2/3 sont rejetés en CO_2 et 1/3 est absorbé). Il faut donc une plus grande quantité de Carbone que d'Azote. Ces deux éléments sont en relation étroite dans la fermentation aérobie (étude du rapport C/N).

Le Soufre, le Calcium, le Potassium etc... et les oligo éléments sont indispensables à la croissance biologique. Ils existent dans les ordures ménagères.

Le stade final de la transformation de la matière organique est l'humus dont l'une des propriétés est de former des complexes avec les ions métalliques (pouvoir absorbant).

Nos analyses chimiques comportent les dosages de ces différents éléments.

a - Teneur en Carbone

C'est une notion fondamentale de laquelle on déduit, par l'application d'un coefficient empirique, la teneur en matières organiques.

Cas des ordures ménagères : coefficient = 2

Méthode de ANNE (15)

Le carbone organique suivant le principe de la méthode de Anne, est oxydé par une quantité connue de bichromate de K en milieu sulfurique dont l'excès sera ensuite dosé à l'aide d'une solution titrée de sel ferreux (sel de Mohr : sulfate ferreux ammoniacal).

L'indicateur de virage est la diphényl amine sulfurique rendue plus sensible par adjonction, au moment du dosage, d'une petite quantité de fluorure de sodium.

Résultats

	Ordures fraîches	Fermentées I mois I/2	3 mois
Carbone	I7, 81 %	I5, 11	14, 13
Matières organiques	35, 63	30, 22	28, 26

b - Teneur en Azote Total

C'est une notion corollaire à celle de la teneur en Carbone, qui donne un premier aperçu de l'activité minéralisante et synthétisante de la flore.

Méthode classique de KJELDAHL (15)

Résultats

	Ordures fraîches	Fermentées I mois 1/2	3 mois
Azote total	0, 58	0, 56	0, 57

c - Rapport Carbone/Azote

Cette expression fondamentale de l'activité des cycles de l'azote et du Carbone caractérise les différents humus.

C'est un excellent test de l'activité microbiologique globale.

Résultats

	Ordures fraîches	Fermentées 1 mois 1/2	3 mois
Carbone/Azote	30	27	25

(L'étude du rapport Carbone/Azote et de son influence sur le processus du compostage sera reprise au chapitre suivant).

d - L'Humus

Fractionnement des composés humiques :

Il est extrêmement difficile de séparer les différentes fractions de la matière organique humifiée.

Au cours de la décomposition, il se forme des produits intermédiaires et des complexes colloïdaux qui constituent l'humus.

SPRINGER (1952) utilise la solubilité de la matière organique fraîche dans le bromure d'acétyle pour la séparer des composés humiques polymérisés.

Au Laboratoire, nous avons utilisé la méthode de CHAMINADE (15) =

1 - Extraction des acides humiques par l'oxalate d'ammonium et précipitation par SO_4H_2.

2 - Dissolution du précipité par Na OH.

3 - Oxydation et titrage en retour par MNO_4K.

Résultats

	Ordures fraîches	I mois 1/2	3 mois
Humus en MnO_4K N/10	1.779	2.388	1.074 (?)

e - Etude du complexe absorbant

A côté des colloïdes électropositifs, qui se comportent en bases faibles, existent des colloïdes électronégatifs, tels les acides humiques aux propriétés d'acides faibles et à grande affinité pour l'eau.

Ces colloïdes retiennent autour de leur molécule des cations (H +, Ca ++, Mg ++, K+ etc...)

L'étude du complexe absorbant comporte la détermination de certaines constantes:

- Capacité totale d'échange T
- Sommes de cations métalliques échangeables S
- Taux de saturation = $\frac{S \times 100}{T}$ = V

Les résultats sont donnés en milliéquivalents (poids moléculaire) pour 100 g de matières, correspondant à valence une valeur fixe, quels que soient les cations absorbés (DUCHAUFOUR) (15).

1 - Détermination de la capacité totale d'échange (T).

Principe : (15)

Saturation de la capacité d'échange de cations par percolation à l'aide d'une solution contenant ce cation ; déplacement de ce cation par percolation et dosage du premier cation.

On utilise la solution neutre d'acétate d'ammoniaque, puis déplacement par CI Na et dosage à l'aide de SO_4H_2.

2 - Somme des bases échangeables S

3 - Taux de saturation V

Notre échantillon offre un complexe saturé (présence de Ca).

Résultats

	Ordures fraîches	Fermentées 1 mois 1/2	3 mois
S	87 meq, 54 %	113,32	
T	9 meq, 80	9	10,7
S/T x 100	Saturé	saturé	
Mg échangeable	0,52	8,25	
Ca "	71 meq, 25	82	65
Na "	10	15	6,82
K "	5,57	7,67	12,15

Les composés humiques ont un pouvoir absorbant très élevé. DEMOLON (1952) - (15) donne , pour la capacité d'échange, les chiffres moyens suivants :

- Acides humiques 3, 7 meq pour 1 g
- Complexe humique 2, 6

KELLER (37) constate que pour les acides humiques extraits du sol la capacité d'échange de cations varie entre 200 et 500 milliéquivalents par 100 g, ce qui représente entre 30 et 60 % de la capacité d'échange d'ions d'un sol (SCHEFFER et ULRICH, 1960) (76).

f - Analyses chimiques diverses

Ces analyses renseignent sur la teneur d'un terreau en sels minéraux et en éléments assimilables par les plantes.

Méthodes

Azote	: méthode classique de Kjeldahl
Carbone	: " " Anne
Ca	: Calcimètre de Bernard
	Méthode à l'oxalate
Mg	: " pyrophosphate
K	: Photomètre de flamme
	Méthode au perchlorate
P	: Méthode de Lorenz
Nh 4 et nitrates	: Lemée

Phosphates assimilables : technique Jacquet et le Nyr

Analyse sur complexe absorbant : méthodes indiquées en annexe du Précis de Pédologie de DUCHAUFOUR (15).

(S - T - Na , Ca Mg et K échangeables)

Dosage des éléments traces +

ANNEXE TABLEAU RECAPITULATIF DES ANALYSES CHIMIQUES

	Ire Série	2e Série	3e Série
Taux d'humidité	24,07	25,25	19,17
pH	6,95	7,65	7,80
NH4/ordures sèches	0,00537 %	0,002387	0,001034
NH4/Ordures humides	0,00408	0,001785	0,001088
Nitrates/ordures sèches	0,0240	0	0,0025
Nitrates/ordures humides	0,01878	0	0,0021
Calcaire total	4,71	6,12	5,9
Phosphates assimilables	0,031	0,018	0,046
Matières organiques	35,636	30,22	28,27
Carbone	17,818	15,11	14,132
Azote	0,574	0,564	0,576
Carbone/Azote	31,04	26,70	24,50
Humus	1779 cm3 MNO4K	2388	1074 (?)
Somme totale de base 5S)	92 meq 12%	112,92	89,97
Capacité de fixation (T)	9 meq 80	9	10,70
S/T (taux saturation)	saturé	saturé	saturé
Mg échangeable	0,53	0,825	0,6
Ca "	71 meq 25	82 meq	65
Na "	10 meq	15 meq	6,82
K "	5 meq 57	7,55	12,15
Sulfates en SO4H2	2,90	3,30	3,40
Sulfures en SH2	0,017	0,055	
CaO	5,90	7	6,75
MGO	0,65	0,32	0,44
K2O	0,20	0,39	0,53

C - MICROBIOLOGIE DU COMPOSTAGE

MICROFLORE TOTALE

L'étude de la microflore permet d'avoir une vue d'ensemble du nombre , de la nature et de la variété des microorganismes présents dans l'échantillon étudié.

Technique de l'Etude (60) N.B. - Cette méthode, ainsi que toutes celles qui seront utilisées pour les différentes fonctions, ont été empruntées à l'ouvrage de POCHON et TARDIEUX .

La numération de la microflore totale a été effectuée indirectement par inoculation dans les milieux de culture convenables, de suspensions dilution de compost.

Ce mode de lecture ne compte que les germes vivants capables de donner des cultures en milieu liquide ou des colonies en milieu solide.

- En milieu liquide : Ensemencement avec des suspensions dilutions d'un milieu liquide à l'extrait de terre et recherche de la dilution limite donnant lieu à une culture. On observe les tubes à la lumière diffuse. Les tubes positifs présentent un trouble.

- En milieu solide : Le milieu est constitué par de l'extrait de terre additionnée de 15 pour 1.000 de gélose, coulé en boîtes de Pétri, et ensemencé par des suspensions dilutions de compost.

Résultats

	Température d'incubation.	jour de lecture	Nombre de germes par gramme .
Ordures fraîches	5	7	800.000
	25	5	500.000.000
	50	5	250.000.000
Ordures fermentées un mois et demi	5	18	2.500.000
	25	7	300.000.000
	50	7	5.000.000
Ordures fermentées trois mois	5	11	130.000
	25	5	800.000.000
	50	5	350.000

CONCLUSION

La flore totale est abondante, et présente un intérêt différent suivant les groupes psychrophile, mésophile ou thermophile.

Nous étudierons l'action de ces différents groupes à propos de chaque fonction, mais nous pouvons déjà observer que :

- Les germes mésophiles (25° C) sont les plus abondants : très nombreux dans les ordures fraîches, ils augmentent après trois mois de fermentation, après avoir cependant subi un fléchissement à 1 mois 1/2.

- Les germes thermophiles (50° C) très abondants dans les ordures fraîches diminuent progressivement, ce qui correspond bien à l'évolution de température des ordures ménagères.

- Les germes psychrophiles varient peu au cours de l'évolution des ordures. Ils sont toujours peu nombreux.

Ces conclusions nous ont permis d'établir le graphique général de répartition des trois groupes de germes : (figure I) .

Ce graphique montre :

- Un groupe psychrophile très réduit
- Un groupe mésophile le mieux représenté
- Un groupe thermophile : important dans les ordures fraîches et une élévation brutale de la température, quelque soit le degré d'évolution.

Le rapport M/T (mésophile/termophile) est relativement élevé = 1/2.

oOo

FLORE TOTALE

MICROPOPULATION NON BACTERIENNE

I - CHAMPIGNONS

Les champignons jouent un rôle important dans la transformation des résidus animaux et végétaux.

Sans entrer dans le détail de l'étude des champignons, il nous paraît indispensable de rappeler les grandes lignes de ce rôle.

Nutrition azotée des champignons

Certaines espèces peuvent fixer l'azote atmosphérique (emploi de l'isotope N 15) plus que les AZOTOBACTER CHROOCOCCUM qui ont un pouvoir fixateur de 10 mg d'azote par gramme de glucose consommé - TERNETZ (1907) calcule pour le PHOMA RADICIS 20 mg d'azote pour la même quantité de glucose.

La majorité des champignons assimilent l'azote nitrique, ammoniacal ou organique. La présence d'acides aminés, de protéines ou de peptone etc... stimule leur croissance.

La présence de sels minéraux (P - K - Oligo éléments) et de facteurs de croissance (Vit. B1, B2, Biotine) est nécessaire à leur prolifération.

Nutrition carbonée

Le carbone provient de CO_2 et du Carbone organique (glucides, amidon, cellulose, lignine, etc...).

Les champignons jouent un grand rôle dans la cellulolyse et l'amylolyse.

D'après WAKSMAN, celui-ci est plus important que celui des Actinomycètes et des Bactéries (93).

Facteurs influençant la prolifération des champignons

a - pH

Les champignons présentent une grande tolérance (pH 2 à II). Ils sont nombreux en milieu acide, alors que les bactéries sont inhibées.

b - Humidité

Il est difficile de fixer le taux idéal d'humidité; il existe d'immenses différences dans la flore et d'autre part, l'aération ajoute son influence à celle de l'humidité dans le développement des champignons.

Pour montrer la diversité des résultats, citons quelques expériences :

- GRAY (28) 1959 - conclut que l'humidité du terreau devrait être de 60 % pour assurer de bonnes conditions d'existence aux champignons cellulolytiques. Mais il est indispensable de pratiquer une bonne aération, la température restant dans la zone mésophile.

- FARKASDI (20) , fait la relation entre la quantité de champignons et la teneur en eau : dans ses expériences, il observe plus de champignons dans les tas "secs" qu'humides. A 23 % H_2O, il compte 9 millions de champignons mésophiles et 32 millions de thermophiles. A 38 % H_2O, il ne reste que 23.000 mésophiles et 40.000 thermophiles.

Le nombre de champignons dépend surtout du matériel initial : Ainsi à Bad-Kreuznach (1961) avec une teneur en H_2O = 15 % et mêmes influences extérieures un tas de compost comportait I0 fois plus de champignons que le tas voisin.

c - Aération

Nous avons observé, dans un tas en compostage de 1,50 m de haut, traversé à la base par un large tuyau d'aération :

- Au début du compostage, couche superficielle jusqu'à 10 cm : prolifération de champignons jusqu'à une profondeur de 10 cm. Ceux-ci étaient presque inexistants à 60 cm (disparition du mycélium blanc) et l'on observait une faible présence près du tuyau d'aération.

- Après trois mois, les champignons étaient présents dans toute l'épaisseur du tas.

d - Température

Les champignons sont thermophiles ou mésophiles. FARKASDI (20) constate, dans le tas de compost, une brusque prolifération des mésophiles jusqu'à 37° C.

A 67° C, ils ont disparu. Mais après refroidissement, les mésophiles réapparaissent (ce que nous avons signalé plus haut). VON KLOPOTEK (9I) a réalisé des expériences identiques : les champignons thermophiles ne se multiplièrent pas au début, mais leur nombre augmenta après la période de refroidissement. Cependant, les mésophiles jouent un plus grand rôle que les thermophiles.

Identification des Champignons

Nous n'avons pas identifié les champignons cultivés sur boîtes de Pétri.

Nous relaterons quelques études étrangères :

VON KLOPOTEK (9I) a observé une modification de la flore. Le Geotrichum se développe jusqu'à 45° C alors que, à 55° C la flore ne comporte plus que des Cladosporum.

A Heidelberg (Procèdé DOOR OLIVER), dans les mêmes conditions on a trouvé : 80 % de Geotrichum et 20 % de Mucorinées, sur 400.000 germes par g avec seulement 1 espèce de Pénicillium.

Les auteurs allemands ont publié une liste de 106 espèces en 1962 et l'ont complétée par I9 espèces en I963.

Etude expérimentale

Sur boîte de Pétri.

Technique de POCHON et TARDIEUX (60)

Ensemencement avec des suspensions dilutions de terreau, d'un milieu gélosé favorisant la culture et composé de peptone, glucose, oligo éléments et sels minéraux, auxquels on ajoute de la streptomycine.

Résultats

Colonies jusqu'à dilution 10^{-8} : incomptables

Dilution 10^{-8} : 7 colonies au 7e jour.

II - LES ACTINOMYCETES

Les Actinomycètes sont situés morphologiquement entre les Champignons et les Bactéries.

Ils se trouvent en grandes quantités dans un matériel riche en matières organiques.

Ils sont pour la plupart AEROBIES et cultivent à pH compris entre 6 et 8.

Ils sont très tolérants aux différentes températures.

Dans notre cas particulier, les plus répandus sont STREPTOMYCES et MICROMONOSPORA.

Ce sont les Actinomycètes qui donnent au terreau mûri son odeur caractéristique (humus).

Ils jouent un rôle important dans le métabolisme de l'humus à partir des matières organiques, puis dans la minéralisation de l'humus.

Pour certains auteurs, ils interviennent activement dans les processus d'ammonification (SCHEFFER, 1953).

Technique de la Recherche (60) :

Ensemencement en boites de Petri avec des suspensions dilutions de terreau, d'un milieu gélosé favorisant la croissance des Actinomycètes et contenant du glycérol, asparaginate de Na, phosphate de potassium et oligo éléments.

Résultats

Dilution 10^{-9} : 22 colonies décelables au 7e jour.

oOo

LE CYCLE DU CARBONE

I - Carbone minéral

Le CO_2 atmosphérique est indispensable à de nombreuses bactéries pour leur métabolisme.

2 - Carbone organique :

Le carbone contenu dans les substances organiques est progressivement minéralisé par l'intermédiaire de la flore zymogène pour aboutir finalement à la formation de CO_2 et H_2O.

Les substances carbonées ternaires sont principalement des glucides (monoses, polyoses, amidon, hémicellulose, cellulose, etc...),

des glucosides,

acides organiques,

graisses, lignine etc....

Ces substances sont plus ou moins vite décompensées. Elles sont très solubles (glucides) peu solubles (hémicelluloses) ou insolubles (amidon, cellulose, résine ou cire).

La lignine présente une grande résistance à l'attaque biologique.

A titre d'exemple, POCHON (60) donne la composition du bois en substances polymérisées.

- Cellulose	45 à 55 %
- Hémicellulose	20 à 30
- Lignine	25 à 30
- graisses, cire	3 à 5
- protéines	0,5 à 1 %

Ceci explique la difficulté de dégradation du bois dans le sol ou dans les ordures ménagères.

En Laboratoire, nous avons étudié la dégradation de l'amidon (amylolyse) et de la cellulose (cellulolyse).

oOo

AMYLOLYSE

L'amidon est en petite quantité dans les ordures ménagères. En effet, il ne représente qu'une faible proportion des végétaux.

L'amidon est dégradé rapidement sous l'action de l'amylase d'une microflore zymogène assez polyphage et de double constitution.

- Une microflore abondante et peu spécialisée dégradant l'amidon jusqu'à un stade voisin des dextrines,

- Une microflore plus restreinte et plus spécialisée, transformant directement l'amidon en CO_2 et acides organiques.

Le processus peut se faire :

En Aérobiose

POCHON et CHALVIGNAC (62) - 1951 - étudient une espèce sporulée à pouvoir amylolytique très important : ENDOSPORUS FILAMENTOSUS. Avec l'amidon, il donne des acides et alcools.

Des Bactéries cellulolytiques sont en même temps amylolytiques (ALARIC et GRAY).

L'Azotobacter a le même pouvoir dans certaines conditions.

En Anaérobiose

CLOSTRIDIUM (BUTYRICUM, PERFRINGENS) Cl. AMYLOLYTICUM, (PREVOST et SAISSAC (69) avec l'amidon, donnent des acides organiques (acétique , butyrique).

Facteurs influençant l'amylolyse

I - Humidité et Température

A demie saturation et à température de 20°C environ, les Bactéries aérobies et les Champignons interviennent.

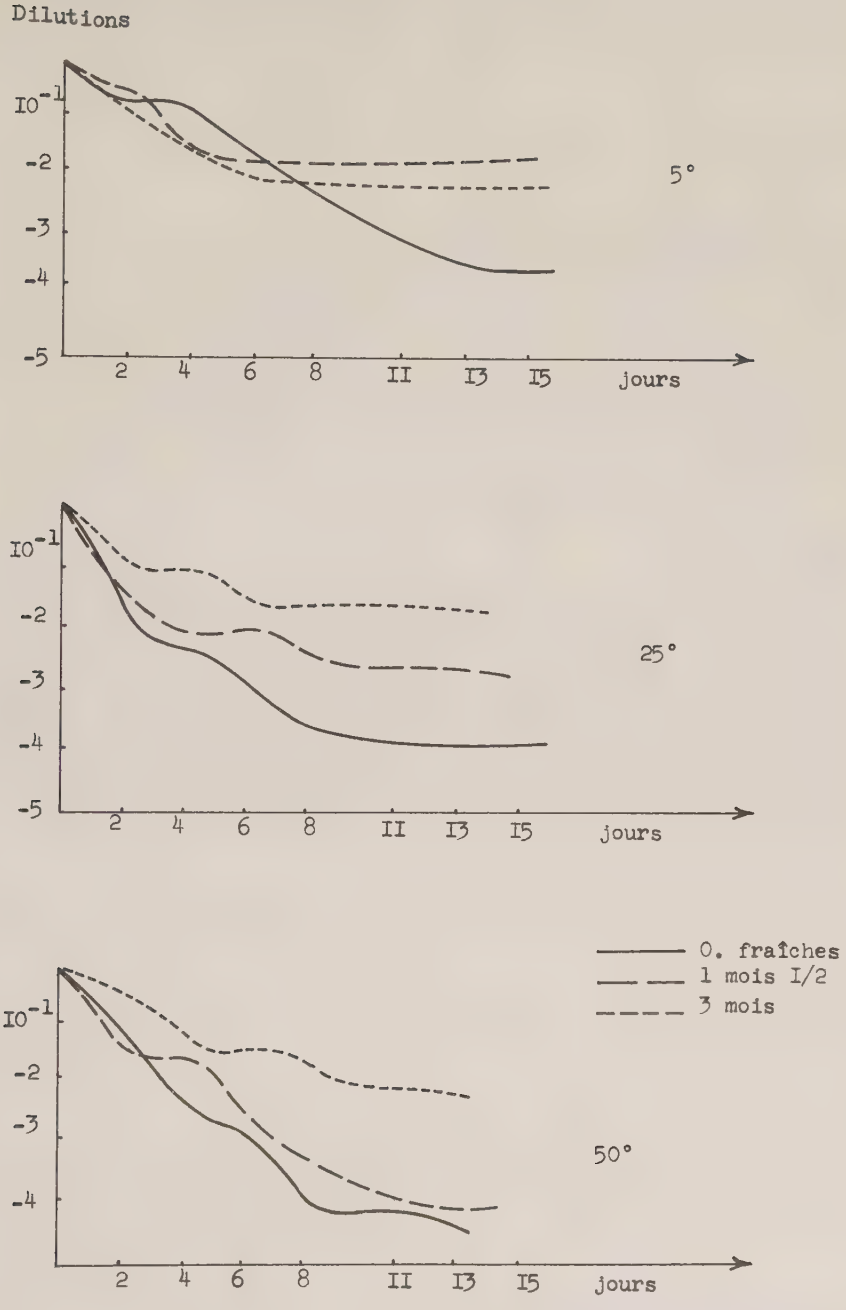

Dilutions
10^{-1}
-2
-3
-4
-5
2
4
6
8
11
13
15
jours
5°
25°
50°
0. fraîches
1 mois 1/2
3 mois

Figure II

A la même température, mais à saturation d'eau, les Aérobies et certains anaérobies facultatifs dégradent l'amidon. POCHON (61) signale entre autres : BACILLUS MACERANS, SUBTILIS, CEREUS et AMYLOBACTER.

A 33°C seuls les Anaérobies du type CLOSTRIDIUM interviennent.

Principe de la Recherche (-60)

Ensemencement avec des suspensions/dilutions d'un milieu liquide où l'amidon est la seule source de Carbone.

On recherche la disparition de l'amidon au moyen du réactif iodo-ioduré en fonction du temps et des dilutions.

Résultats

Ils sont donnés par la fig. II.

Conclusion

Les courbes et la lecture de la dilution limite montrent le pouvoir très réduit de la microflore amylolytique à 5° C et 25° C.

L'activité est légèrement plus développée à 50 ° C, en début de fermentation et pendant un mois et demi environ; mais l'amylolyse reste toujours faible dans ce terreau, et il y a une nette diminution de la fonction avec l'âge quelle que soit la température.

oOo

LA CELLULOLYSE

Parmi les substances carbonées contenues dans les ordures ménagères, la cellulose est l'une des plus répandues (30 à 60 %). Elle est constituée de longues chaînes formées d'unités de 1 - 4 B D glucopyranose (cellobiose).

La cellulose pure n'existe pratiquement pas à l'état naturel. Elle est imprégnée d'autres substances (lignines hémicellulose etc...) dont l'influence est certaine lors de l'attaque par les micro-organismes.

Enzymologie

Le phénomène de cellulolyse occupe une place de tout premier ordre dans le cycle du Carbone, il se produit par l'intermédiaire de certaines Bactéries et Champignons, qui, par leur cellulase, dégradent la cellulose. Les produits de cette dégradation, pour un même composé, sont différents suivant les conditions aérobies ou anaérobies.

L'activité enzymatique se mesure par la méthode usuelle (détermination des sucres réducteurs formés).

La viscosimétrie, applicable en agrobiologie, est d'un usage contesté pour le terreau d'ordures ménagères.

OBRIST (54) - Zurich 1963, emploie cette méthode décrite par SCHAEFER (1957) et HANSTEIN (1960) en utilisant de la Carboxy-méthyl cellulose comme produit de base et des extraits aqueux de compost comme solution enzymatique.

Par contre, KELLER (37) 1960 - dose la cellulose par extraction avec le réactif de Schweitzer ; puis précipitation par un acide et pesée. Il n'utilise pas la méthode fondée sur la détermination de la viscosité, parce que la cellulose du terreau a déjà subi une forte dégradation.

L'accord n'est pas fait sur les modalités de la cellulolyse. Nous nous contenterons de donner le résumé de la réaction enzymatique (6I).

Cellulose $\xrightarrow{Cl}$ longue chaîne de $\xrightarrow{Cx}$ cellobiose $\xrightarrow{\text{glucosidase}}$ glucose

B I-4 anhydroglucose

CI et Cx = enzymes.

La cellulolyse se déroule en AEROBIOSE et en ANAEROBIOSE.

I - Bactéries Aérobies

Parmi les Eubactériales non sporulées :

a - CELLVIBRIO et CELLFASCICULA

(Winogradski, I929)

L'association avec d'autres germes, par exemple par addition de fumier, augmenterait la cellulolyse (d'après VOETS, et HOVE (6I)).

La présence de glucose ou de peptone pourrait inhiber la cellulolyse.

La nutrition azotée s'effectue aux dépens de l'azote ammoniacal et nitrique.

b - PSEUDOMONAS et CELLULOMONAS

sont polyphages : ils font fermenter la plupart des sucres. Parmi les Myxobactéries, citons les :

CYTOPHAGA (Winogradski, I929)

Les SPOROCYTOPHAGA (avec microcystes germinatifs)

Les CYTOPHAGA hydrolysent la cellulose en cellobiose et et glucose.

Ces deux corps sont utilisés pour la synthèse de la "gelée cytophagienne" composée de pentoses et acides uroniques, qui s'intègrera par la suite à l'humus.

Parmi les ACTINOBACTERIALES :

Les STREPTOMYCES et le MICROMONOSPORA ont une activité cellulolytique certaine.

II - Bactéries Anaérobies

Les Mésophiles : ce sont principalement : CLOSTRIDIUM, PLECTRIDIUM, CADUCEUS etc....

Certaines sont anaérobies strictes, d'autres sont tolérants. Température : 30 à 40° C.

Nutrition azotée : azote ammoniacal et nitrique avec une petite quantité d'azote aminé (maximum 1 °/₀₀ de peptone).

Pendant la fermentation, il se forme des gaz (CO_2, H_2, CH_4), des acides organiques (acétique, butyrique, formique, propionique lactique et succinique) des alcools (éthanol) et des sucres réducteurs (glucose, cellobiose).

III - Cellulolytiques thermophiles

a - Bactéries anaérobies sporulées.

TERMINOSPORUS, PLECTRIDIUM, CLOSTRIDIUM, etc..

A une température de 50 - 65° C, sous leur action se forme des gaz, et des sucres réducteurs.

Ellescultivent à pH = 6,4 à 7,4.

Elles trouvent leur nutrition azotée dans l'azote ammoniacal.

b - Actinomycètes, Cellulolytiques thermophiles

STREPTOMYCES et MICROMONOSPORA

c - Champignons thermophiles

THERMOMYCES (50° à 65° C)

IV - Champignons cellulolytiques

Leur rôle est particulièrement important dans la cellulolyse.

Les champignons mésophiles cultivent à pH entre 6 et 7 avec une température optimum de 28 °C

Ce sont les BASIDIOMYCETES, FUNGI IMPERFECTI, ASPERGILLUS, PENICILLIUM, TRICODERMA etc...

Facteurs influençant la cellulolyse

- Humidité

Les Anaérobies se développent mieux avec des taux croissant d'humidité. On a constaté qu'avec un taux de 15 %, les champignons étaient déjà moins nombreux. A saturation, seules les Bactéries sont en activité.

- Température et pH

Pour résumer l'influence de la température déjà évoquée à propos des différents microorganismes étudiés plus haut, disons qu'à partir de 35° C, les Anaérobies sont les plus actifs.

CYTOPHAGA est mésophile	22 à 35° C - pH 6,5 à 8,5	
CELLVIBRIO	28 à 30 °C	7 à 8
CELLULOMONAS	28 à 33° C	6 à 7
SPOROCYTOPHAGA	22 à 35	6,5 à 8,5

- Structure du milieu

Intervient dans le déroulement de la cellulolyse. Le potentiel d'oxydo-réduction est lui-même fonction de cette structure. Lorsque l'aération est également bonne, dans toutes les couches, les champignons et les Bactéries se développent normalement. Les Champignons disparaissent lorsque sont remplies les conditions d'anaérobiose.

- Teneurs en Azote

Dans un sol enrichi en Azote , l'intensité de développement de des Champignons et Bactéries est maximum , dans de bonne conditions de température et d'humidité.

ETUDE EXPERIMENTALE DE LA CELLULOLYSE

I - En Aérobiose

Principe de la recherche (60).

On ensemence avec des suspensions dilutions un milieu liquide où la seule source de carbone est constituée par de la cellulose

broyée. A la fin de la période d'incubation, les tubes négatifs gardent après agitation une apparence homogène tandis que dans les tubes positifs apparaissent des granulations nageant dans un liquide limpide.

Résultats

	Température d'incubation	jour de lecture	Nombre de germes par grammes de matières sèches
Ordures fraîches	5	21	1.150
	25	15	16.000
	50	15	45.000.000
Ordures fermentées 1 mois 1/2	5	25	1.500
	25	14	250.000.000
	50	14	95.000
Ordures fermentées trois mois	5	31	25.000
	25	14	450.000.000
	50	14	750.000.000

2 - En anaérobiose

Principe de la recherche (60).

Ensemencement avec des suspensions dilutions de terreau d'un milieu liquide où la seule source de carbone est apportée par de la cellulose broyée. Une cloche de Durham est introduite dans chaque tube, qui permettra de mettre en évidence le dégagement gazeux dans les tubes positifs, d'où l'on déduit le nombre de germes.

Résultats

	Température d'incubation	Jour de lecture	Nombre de germes par grammes de matières sèches
Ordures fraîches	5	21	1.500
	25	"	1.500.000
	50	"	950
Ordures fermentées 1 mois 1/2	5	18	9.500
	25	6	95.000.000
	50	"	200.000
Ordures fermentées trois mois	5	11	25
	25	5	250.000.000
	50	5	1.500.000

Conclusion

Il est intéressant de constater le grand nombre de cellulolytiques anaérobies dans la flore mésophile au début de l'expérience, et l'accroissement progressif au cours de l'évolution du terreau. On peut comparer cette évolution avec celle des CLOSTRIDIUM (voir plus loin) qui, elle est dégressive du Ier au 3e mois.

oOo

ETUDE DU CYCLE DE L'AZOTE

Les principales sources de l'azote organique sont les débris végétaux et animaux, auxquels s'ajoute l'azote protéinique formé par certains microorganismes.

Une partie de l'azote organique subit par voie biologique une minéralisation en deux étapes :

- D'abord production d'ammoniaque NH_3 (ammonification) puis oxydation de NH_3 en acide nitreux et nitrique (nitrification).

Si les conditions sont défavorables (forte acidité anaérobiose) l'ammonification se produit seule. La formation d'NH_3 par hydrogénation directe de l'azote est exothermique et la fixation de l'Azote se fait par l'intermédiaire de l'hydroxylamine.

Sous l'influence des Bactéries (NITROSOMONAS et NITROSOCOCCUS) une partie de NH_3 s'oxyde et donne naissance à l'azote nitreux NO_2H (nitrites) lui-même instable, qui s'oxyde en azote nitrique NO_3H et nitrates (Nitrobacter). C'est la Nitrification.

Des teneurs trop élevées en matières organiques azotées inhibent l'oxydation.

Dans un milieu humide, riche en matières organiques, le phénomène est inverse. La dénitrification peut se produire : elle consiste en une réduction des nitrates et nitrites puis en ammoniaque et même en azote moléculaire.

Le cycle se trouve ainsi refermé.

L'étude du cycle de l'azote comporte 4 étapes :

- Fixation de l'Azote moléculaire
- Ammonification
- Nitrification
- Dénitrification.

oOo

ETUDE DES FIXATEURS D'AZOTE ATMOSPHERIQUE

Certaines Bactéries possèdent la propriété de transformer l'Azote moléculaire en azote protéique, servent à leur synthèse cellulaire. Cette fixation de l'azote moléculaire a été brillamment démontrée par l'Ecole Hollandaise, grâce à l'emploi des isotopes (N 15).

Des Bactéries libres telles que les AZOTOBACTERS fixent l'azote atmosphérique en aérobiose, et les CLOSTRIDIUMS agissent en anaérobiose .

I - Fixation aérobie libre

Les AZOTOBACTERS

C'est BEIJERINK qui découvrit les Azotobacter en 1901. L'étude en fut complétée par la suite, notamment par WINOGRADSKI en 1925.

Au microscope, ils se révèlent en formes isolées, sphériques ou groupés en tétracoques, ou en amas de type staphylococcique.

Les AZOTOBACTERS trouvent dans les matières carbonées une source d'énergie pour assurer la fixation de l'Azote. La réaction est, en effet, endothermique. Il existe un rapport entre l'azote fixé et la quantité de carbone utilisée. POCHON et TCHAN estiment à 1 milligramme d'azote pour 100 mg de carbone.

Les AZOTOBACTERS ne peuvent utiliser que des corps à petite molécule, ils doivent donc vivre en association avec d'autres bactéries, qui dégradent les composés carbonés en hémicellulose, pentosanes, amidon.

Les AZOTOBACTERS utiliseront l'alcool éthylique, l'acide pyruvique, benzoïque etc.... formés.

Le rôle de ces organismes est important dans la formation de l'humus.

Principe de la recherche (60)

Ensemencement d'un milieu liquide ne contenant pas d'azote combiné et composé de mannitol, extrait de terre, oligo éléments et carbonate de Ca.

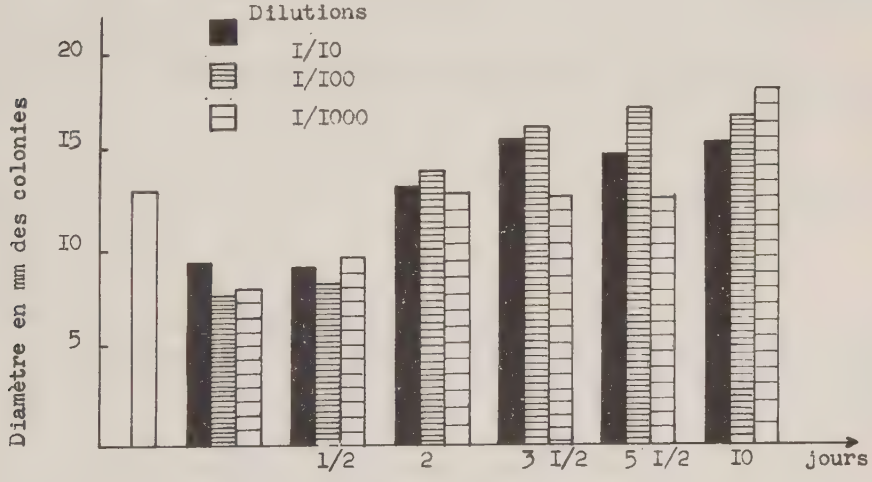
Après quelques jours d'incubation, en présence d'Azotobacter un voile se forme à la surface , brunit et s'effondre facilement au fond du tube.

Résultats

Au microscope, après coloration à l'érythrosine nous avons observé la présence d'AZOTOBACTERS en très petit nombre, au début du compostage. Ceux-ci avaient complètement disparu après un mois et demi de fermentation.

Données bibliographiques

GLATHE (24) démontre l'action inhibitrice des extraits aqueux de compost sur les cultures d'AZOTOBACTER. Cependant, ce ralentissement est surmonté au bout de 2 jours.



D'autres expériences ont montré que les composts bruts agissent défavorablement sur AZOTOBACTER CHROOCOCCUM dans le sol :

Dates	Nombre de germes par gramme	
	Gadoues brutes Baden-Baden.	Gadoues + boues dépuration Baden-Baden
12.11.59	308	728
27.11.59	381	0
23.1.60	156	0
21.2.60	0	0

Ces résultats confirment nos propres expériences.

HUSCHMANN (1959) avait découvert que les AZOTOBACTERS disparaissent du sol après un apport de gadoues de 4 tonnes par hectare .

POCHON (1958) signale une température optimum de 28° C avec des limites de 9 à 35° C.

2 - Fixation anaérobie libre

Les CLOSTRIDIUM

Ce sont des bacilles à bout arrondi, Gram +, qui se présentent parfois en fuseaux. La spore contenue dans le corps bacillaire reste incolore alors que le corps microbien se colore en violet par l'iode.

Ce sont des anaérobies qui supportent cependant une certaine quantité d'Oxygène (30 mg d'oxygène pour un litre d'azote). Cl. PASTORIANUM, Cl. ACETICUM, Cl. BUTYRICUM etc... sont les espèces les plus répandues.

Par son ferment butyrique, CLOSTRIDIUM hydrolyse la plupart des sucres, avec formation d'acides volatils, surtout acide butyrique, mais n'attaque pas la cellulose, à moins qu'il ne vive en association avec des germes cellulolytiques anaérobies.

Le pouvoir fixateur des CLOSTRIDIUM est fonction de la concentration en sucres. Il est d'autant plus élevé que la concentration est plus faible.

WINOGRADSKI donne les chiffres suivants :

3,2 mg d'azote fixé par 1 g de glucose en solution à 0,5 %

2 " " 2 %

I,2 " " 4 %

Résultats

	Température d'incubation	Jour de lecture	Nombre de germes par gramme de matières.
Ordures fraîches	5	7	450.000
	25	7	450.000
	50	7	0
Ordures fermentées 1 mois 1/2	5	26	45
	25	6	150.000
	50		150.000.000
Ordures fermentées 3 mois	5	25	25
	25	11	45.000
	50		?

Conclusion

Le tableau ci-dessus montre une absence presque totale de CLOSTRIDIUM au début de l'expérience, le matériel étant peut être trop oxygéné pour faciliter leur prolifération.

Par la suite, leur multiplication fut intense, à la température de 50° C. Leur optimum de température se situe en effet, aux environs de 40° C.

L'humidité exerce aussi son influence sur CLOSTRIDIUM. JENSEN (1940) a calculé qu'à un degré d'humidité de 38 % avec un apport de substances énergétiques. Le nombre de CLOSTRIDIUM a décuplé par rapport à celui correspondant à H_2O = 8 %.

Conclusion Générale :

La fixation d'Azote atmosphérique paraît donc à peu près limitée aux anaérobies du genre CLOSTRIDIUM, tout au moins dans l'échantillon étudié.

Les thermophiles augmentent pendant toute l'expérience.

oOo

PROTEOLYSE

La protéolyse précède l'ammonification.

DUCHAUFOUR (15) en donne la définition suivante : "(dans la protéolyse), les molécules de protéines sont progressivement simplifiées en protéoses puis en peptides, et enfin en acides aminés et en amides. Ces derniers corps tantôt entrent dans de nouvelles synthèses microbiennes, qui conduisent à l'élaboration des acides humiques, tantôt subissent une désamination qui aboutit à la libération de NH_3 et CO_2 : c'est l'ammonification".

Principe de la méthode de recherche (60).

Un milieu solide de la gélatine ensemencé avec des solutions dilutions de compost. La gélatine est la seule source de Carbone et d'Azote.

Appréciation de la protéolyse par la liquéfaction de la gélatine en fonction du temps et de la dilution.

Résultats .

Les résultats sont donnés par la figure III.

Conclusion

Dans la première série d'expériences (compost frais), à 5° C, la réaction commence au 8e jour seulement.

La courbe est beaucoup plus accentuée à 25° C, et l'activité bactérienne est décelable au 2e jour.

Au 50° C le nombre de germes est réduit, la réaction s'achève au IIe jour. Il n'y a pas de temps de latence à cette température, mais la courbe est moins accentuée.

Après 1 mois et demi de fermentation, on peut conclure que l'activité des germes protéolytiques a pratiquement cessé aux températures de 5° C et 50° C. La courbe est encore très accentuée à 25° C mais à la fin de la période de germination, celle-ci montre un ralentissement très net. La protéolyse n'est effective qu'entre le 6e et le IIe jour.

En conclusion générale, on constate que l'activité protéolytique reste stable dans toute la séquence aux températures moyennes, avec un léger maximum d'intensité à la deuxième série d'expériences.

La protéolyse tend à diminuer d'intensité de la la 1re à la 3e série aux températures extrêmes (5 à 50° C).

Le temps de latence marche en sens inverse.

L'optimum de protéolyse est à 25° C dans les 3 séries.

oOo

AMMONIFICATION

L'azote protidique contenu dans les débris animaux et végétaux va être ramené à l'état de NH_3 qui sera ensuite oxydé en nitrites et nitrates.

Définition (63)

" L' ammonification est une libération d'ammoniaque à partir des molécules aminées par la flore zymogène. Mais il s'agit là d'une définition théorique. Ce qui est en réalité susceptible d'être décelé et mesuré par l'expérimentation, c'est le "rendement" de l'ammonification : en effet, seul l'ammoniaque dégagé est mesurable".

POCHON et BARJAC (61) schématisent 7 modes de désamination chez les Bactéries.

Caractères de l'ammonification

1 - Flore ammonifiante

Des théories diverses furent soutenues concernant la flore ammonifiante. Pour certains auteurs, c'est le fait d'un très grand nombre de Bactéries, de Champignons, et d'Actinomycètes agissant en même temps. Ils citent notamment B. MESENTERICUS, PROTEUS VULGARIS, B. SUBTILIS ; ASPERGILLUS TERRICOLA, B. PERFRINGENS, parmi des centaines d'autres, le plus actif devant être B. MYCOIDES.

Pour WAKSMAN (93) des associations microbiennes interviennent dans l'hydrolyse des protéines et seraient relayées par d'autres microorganismes qui libèreraient NH_3.

WINOGRADSKI (97) réduit le nombre des germes ammonifiants à quelques-uns.

POCHON et TCHAN ont fait une étude très précise du phénomène et concluent ainsi : "L'ammonification n'a pas un caractère brutal explosif. C'est un processus qui a son temps d'incubation, sa phase ascendante, son acmé, sa phase descendante et celle-ci se

poursuit très lentement... En règle générale, apparaissent d'abord les BACTERIES sporulées et non sporulées, et des COCCI. Vers le 2e ou 3e jour, les ACTINOMYCETES entrent en action et prennent une extension considérable. Cette succession correspond à la phase croissante de dégagement de NH_3 ".

D'après ces auteurs, les Champignons entreraient en action pendant la phase descendante.

2 - Facteurs influençant l'ammonification

Rapport C/N

Plus le rapport est faible, plus le rendement de l'ammonification est important. Ceci s'explique par le fait qu'une partie, en petite quantité de Carbone sera vite utilisée par les ammonificateurs, et les autres germes qui en seront privés ne prolifèreront plus et n'utiliseront pas le NH_3 formé, qui se trouvera alors en grande quantité.

Le pH

L'ammonification se produit surtout en milieu neutre ou peu acide.

En milieu nettement acide, l'activité des ammonificateurs est très réduite.

ETUDE DE L'AMMONIFICATION (60)

Technique à l'asparagine , utilisée comme seule source de Carbone et d'Azote. On recherche la disparition de la matière azotée, ajoutée à un milieu liquide ensemencé avec des suspensions dilutions de compost. On suit parallèlement l'apparition de l'ammoniaque que l'on recherche par le réactif de Nessler. Cette méthode permet de mesurer l'activité de la microflore ammonifiante seule.

Résultats

Figure IV

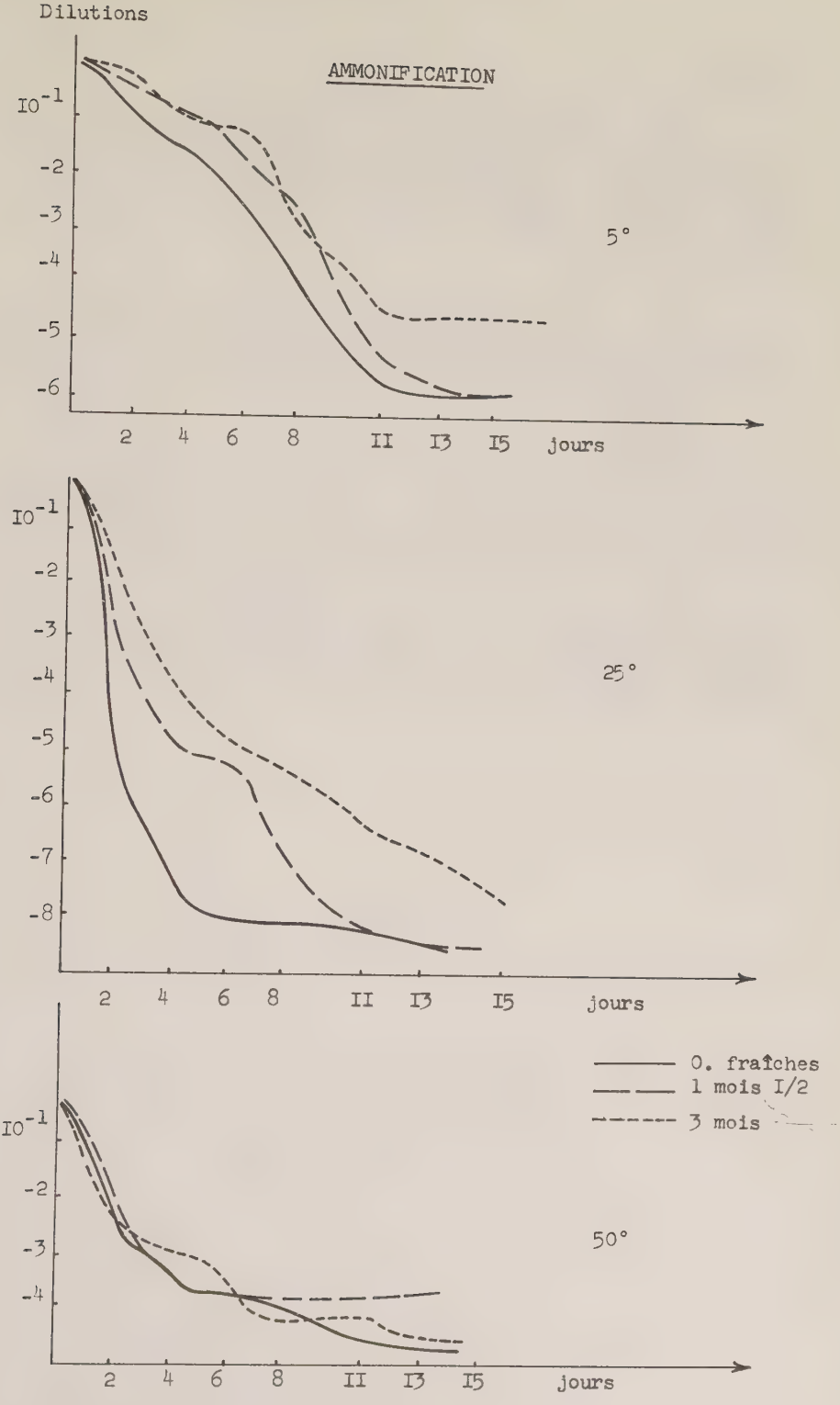

Dilutions
AMMONIFICATION
10^{-1}
-2
-3
-4
-5
-6
5°
2 4 6 8 11 13 15 jours
10^{-1}
-2
-3
-4
-5
-6
-7
-8
25°
2 4 6 8 11 13 15 jours
0. fraîches
1 mois I/2
3 mois
10^{-1}
-2
-3
-4
50°
2 4 6 8 11 13 15 jours

FIGURE IV

Conclusion

Dans le compost d'ordures frafches, à 5°C, l'activité était maximum au IIe jour et présentait une flore ammonifiante peu riche en comparaison de celle qui fut dénombrée pour une température de 25°C au même jour de lecture. Par contre, à 50°C, le pouvoir ammonifiant était inférieur à celui de 5°C , mais de rapidité accrue. L'optimum se situe à 25°C.

Après 1 mois et demi de fermentation, l'activité de la flore a presque disparu dans la portion mise à incuber à 5 °C et 50°C et seule , la température de 25°C semble avoir une influence favorable sur les ammonificateurs.

Après trois mois, cette activité demeure encore réelle à 25°C seulement.

Donc, en général, on note une réelle diminution des processus en intensité et en rapidité, de la Ire à la 3e série.

Pour la 3e série, l'activité est minimale à 50°C et diminue mais moins fortement à 5°C, cette dernière température n'entraînant qu'un ralentissement des processus et une augmentation du temps de latence.

oOo

NITRIFICATION

C'est le troisième chaînon du cycle de l'Azote : l'ammoniaque libéré est oxydé en acide nitreux et nitrites par les ferments nitreux (Nitrosomonas, Nitrosococcus etc...). C'est la NITRITATION, puis l'acide nitreux est transformé en acide nitrique et nitrates par les ferments nitriques (Nitrobacter). C'est la NITRATATION.

DUCHAUFOUR (15) fait remarquer que la nitrification "n'est active qu'en milieu riche en calcaire ou présence d'un complexe fortement saturé en Ca++, donc à un pH au moins égal à 6... Les Bactéries nitreuses et nitriques sont autotrophes. Leur développement est nul en présence de matières organiques, sauf s'il y a des Bactéries ammonisantes dans le milieu ".

POCHON et TCHAN (63) insistent sur le fait que CO2 est nécessaire à la vie des germes nitrificateurs, comme source unique de Carbone.

Mécanisme de la Nitrification

1 - Nitritation

Plusieurs hypothèses ont été émises :

Pour certains auteurs (KLUYVER et DONKER), il y aurait 2 stades intermédiaires entre NH_3 et NO2H : l'Hydroxylamine est l'acide hyponitreux.

Selon POCHON (6I), les nitrificateurs tirent leur énergie d'une réaction d'oxydation qui leur permet de réduire CO_2 pour utiliser le Carbone. Ils sont indépendants de la matière organique.

Il donne les réactions suivantes :

I- Nitritation

$$NH_4 + I/2\ O2 = 2H + H_2O + NO_2 + 66\ KCAL$$

2 - Nitratation

$$NO_2 + 1/2\ O2 = NO_3 + I7\ KCAL.$$

Facteurs influençant la nitrification

Le pH

Des études en Laboratoire ont démontré que la nitritation et la nitratation ne se réalisaient qu'en milieu alcalin.

Cependant Nitrosomonas cultive dans les zones de pH : 5,5 à 9.

Les matières organiques :

De nombreux auteurs se sont penchés sur ce problème complexe et sont parvenus à des conclusions identiques : en laboratoire la présence de matières organiques est inhibitrice de l'action des nitrificateurs. Par contre, dans le sol, les boues activées etc... leur présence a une action favorisante.

Pour concilier ces données, POCHON et TCHAN (63) citent l'expérience de ONIELANSKI "Il s'agit de cultures pures ou mixtes de nitrificateurs et de B. RAMOSUS (Le B. RAMOSUS étant connu pour son pouvoir ammonifiant) suivant le schéma suivant :

Mat. organiques + NITROSOMONAS + NITROBACTER = pas de culture

" " " + B. RAMOSUS = Nitrates

" " + B. RAMOSUS + NITROSOMONAS= Nitrites

" " + NITROBACTER + B. RAMOSUS = Ammoniaque.

On constate cependant qu'en culture mixte avec ammonifiant, ils conduisent la nitrification , aux dépends de l'ammoniaque (NITROSOMONAS).

Le stade intermédiaire des nitrites n'est que décelable dans le sol.

Dans notre cas particulier, nous avons dosé les nitrites par la méthode de Griess.

Dosage des nitrites : en NO_2 Na mg/Kg

Ordures fraîches	I mois I/2	Trois mois
5	I3,5	9

Principe de l'étude de la Nitrification (60)

Pour la recherche des ferments nitreux, l'azote est fourni sous forme de sulfate d'ammonium. On lit la dilution limite contenant des nitrites ou des nitrates par la diphénylamine sulfurique.

Pour la recherche des ferments nitriques, l'azote est fourni sous forme de nitrites de Na et on lit la dilution limite contenant des nitrates par le même réactif, mais après élimination des nitrites. On ajoute, à cet effet, une petite quantité d'urée, avant d'introduire la diphénylamine. Dans les milieux de culture, on avait ajouté du CO_3 CA qui jouait le rôle de tampon.

Résultats

Pendant les 3 mois de compostage en laboratoire, nous n'avons pu effectuer une numération des germes nitreux et nitriques ceux-ci étant trop peu nombreux et la réaction colorée à peine perceptible.

WAKSMAN (93) constate que le phénomène de nitrification est inhibé à 40°.

Comparaison avec divers échantillons de terreau et de fumier (42)

	Germes nitreux	Germes nitriques
Terreau I	0	0
Terreau II	0	0
Fumier de vache	0	0
Fumier de cheval (peu consommé)	0	0

Cependant, il semblerait que, dans des conditions naturelles de fermentation à l'air libre de tas composés de plusieurs tonnes d'ordures broyées, un phénomène de nitrification se produise parfois mais de façon très atténuée et très variable, d'un tas à un autre, ainsi que le démontrent les expériences réalisées par la Station Agronomique de Seine et Marne:

I - Fermentation en tas non remué, après 5 semaines :

Azote Nitrique = I,31 (GONDARD)

" " = 4,20 (GONDARD)

2 - Fermentation en tas, remués en 5 semaines :

Azote Nitrique = 7,30 (DORR OLIVER, tas remué I fois)

" " = 11,55 (BUHLER - tas remué 3 fois)

3 - En cellule ou digesteur

Azote Nitrique = 6,60 (BIOTANK)

" " = 6,40 (CAREL et FOUCHE)

" " = 12,40 (HUMUSOL) ensemencé.

oOo

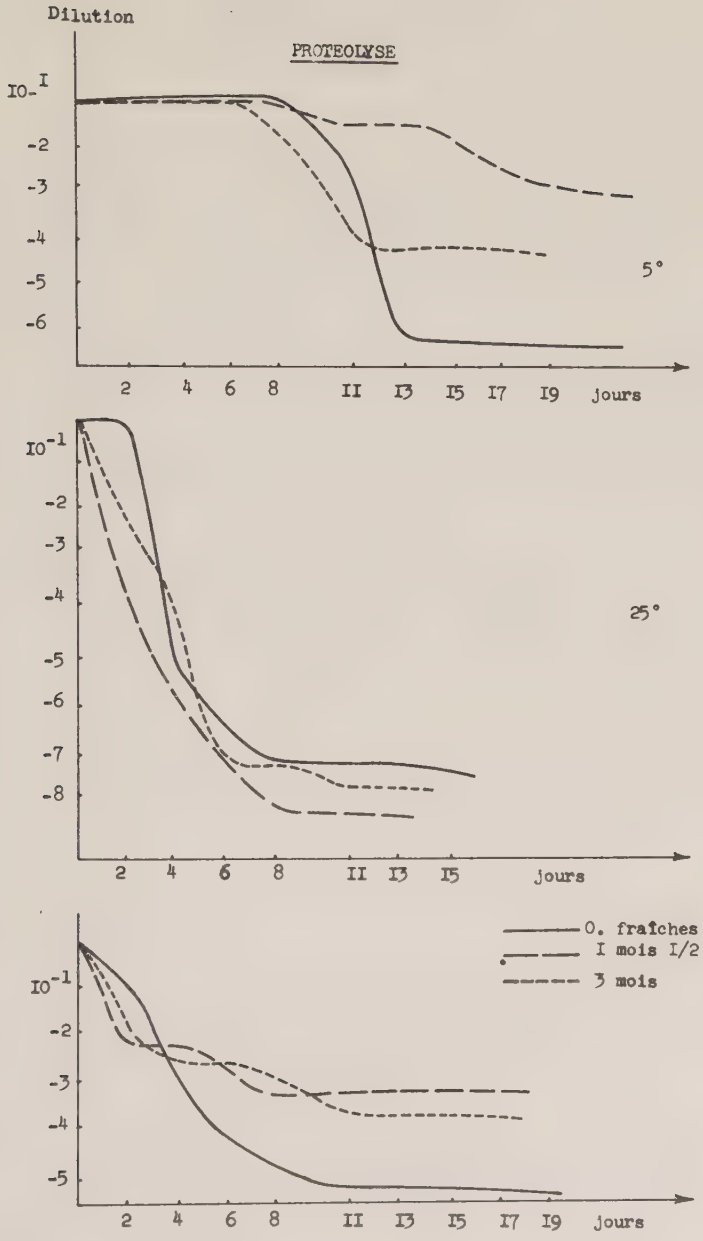

Dilution
PROTEOLYSE
10-1
-2
-3
-4
-5
-6
5°
2 4 6 8 11 13 15 17 19 jours
10-1
-2
-3
-4
-5
-6
-7
-8
25°
2 4 6 8 11 13 15 jours
10-1
-2
-3
-4
-5
0. fraîches
1 mois 1/2
3 mois
2 4 6 8 11 13 15 17 19 jours

FIGURE III

DENITRIFICATION

Le phénomène de dénitrification consiste en un processus de REDUCTION de l'azote nitrique (nitrates) et aboutit par l'intermédiaire de dérivés azotés moins oxydés (nitrites par exemple) à la formation d'ammoniaque ou même d'azote à l'état gazeux.

C'est le terme final du cycle de l'azote.

Les Bactéries dénitrifiantes sont actives en milieu neutre, riche en matières organiques et mal aéré.

POCHON (61) schématise les chaînons biochimiques de la dénitrification (d'après KLUYVER et DONKER) :

$NO_3H + 2\ H = NO_2H + H_2O$ acide nitreux

$2\ NO_2H + 2\ H = N_2O_2H_2$ acide hyponitreux

$N_2O_2H_2 + 4H = 2\ NH_2OH + 2H = NH_3 + N_2O$

$N_2O_2H_2 - H_2O = N_2O$ (oxyde nitreux) $+ 2H = 2N + H_2O$

Pour certains auteurs (BARRIT, 1931), il y a une interraction chimique entre acide nitreux et les composés aminés :

$R\text{-}NH_2 + NO_2H = R\text{-}OH + H_2O + N_2$

Flore dénitrifiante

WAKSMAN (13) a montré que les microorganismes utilisent les nitrates soit comme source d'azote, soit comme source d'oxygène. Dans ce dernier cas, on les appelle des dénitrifiants vrais, car sous leur action, l'azote est libéré et perdu.

De très nombreux germes réduisent les nitrates en nitrites (E. COLI, B. SUBTILIS, B. MEGATHERIUM etc...).

La flore ammonifiante, les AZOTOBACTER etc... réduisent les nitrates en ammoniaque.

Certains microorganismes libèrent l'azote gazeux à partir des nitrates (tous les B. DENITRIFICANS).

Tous ces germes sont hétérotrophes ; ils sont actifs, surtout à pH compris entre 6, 8 et 8, 5.

Le processus de dénitrification est essentiellement anaérobie.

Facteurs de Dénitrification

FERGUSON et E.B. FRED (109) ont signalé qu'une fumure abondante favorisait la dénitrification. Celle-ci est causée par différents facteurs, notamment :

1 - Matières organiques

Les expériences de WIULER et DELWICH (6I) ont montré qu'avec une quantité égale de nitrates, la quantité de N2 formée est doublée pour une quantité de matières organiques 7 fois plus forte.

2 - Température

Optimum 27-30° C (BARTHEL 1909)

3 - pH

Il faut un pH supérieur à 6.

4 - H_2O

On a cru longtemps qu'une trop grande humidité favorisait la réduction des nitrates en nitrites.

C'est ainsi que l'emploi des engrais à base de nitrates furent parfois interdits dans les rizières.

Les expériences de WIJLER et DELWICH (1954) montrent qu'une certaine proportion d'oxygène est nécessaire à la dénitrification, et alors seulement le taux d'humidité a une influence.

Pour ces auteurs, il faut une tension en oxygène égale à 10 à 20 cm de mercure.

Si corrélativement, le taux d'humidité augmente de 10 à 30 % la dénitrification est multipliée par 20 (6I).

Principe de la recherche (60)

Ensemencement avec des suspensions dilutions de compost du milieu liquide où l'azote est fourni sous forme de nitrates.

ORDURES FRAICHES

DENITRIFICATION

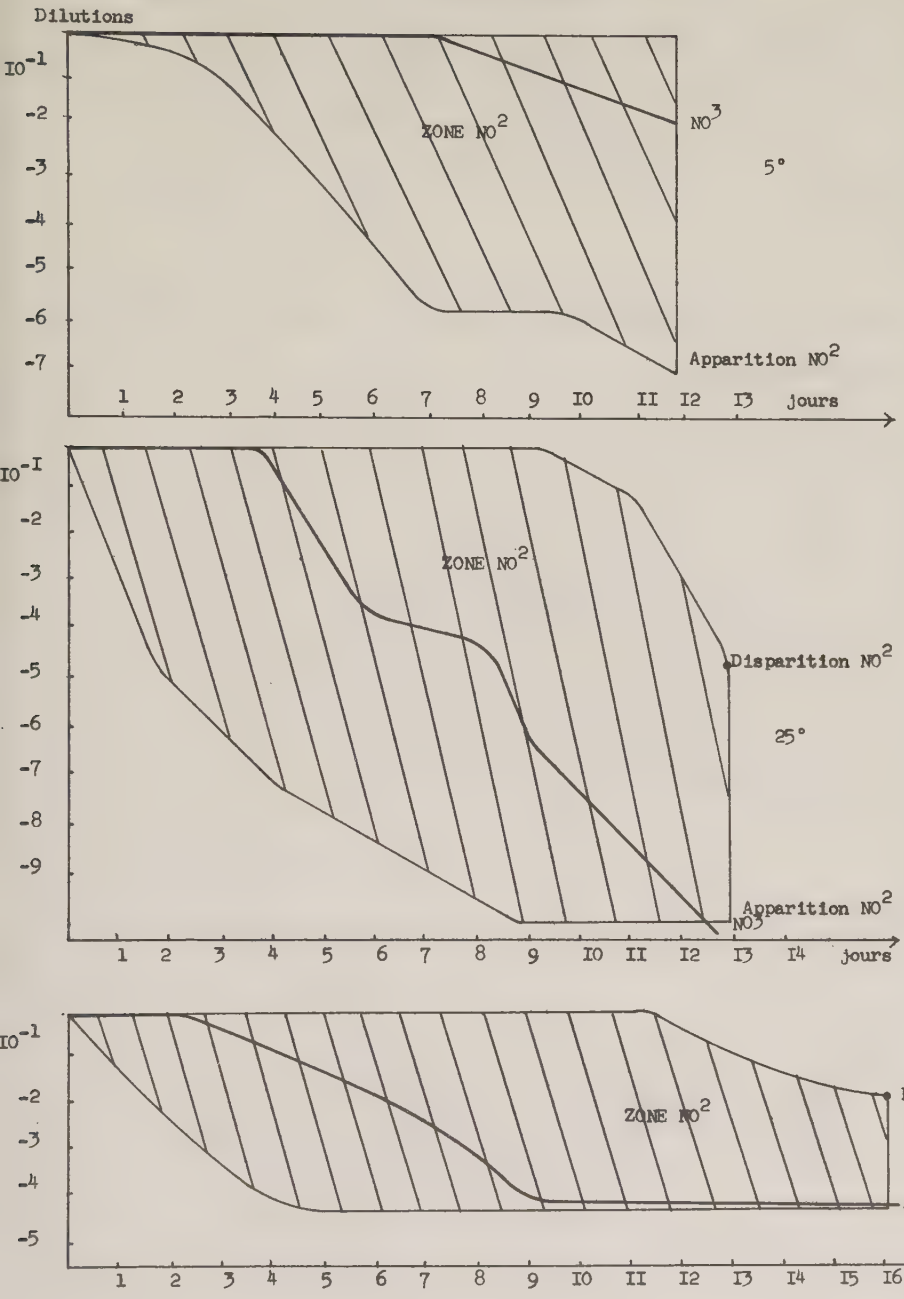


Figure V

APRES I MOIS I/2 DENITRIFICATION

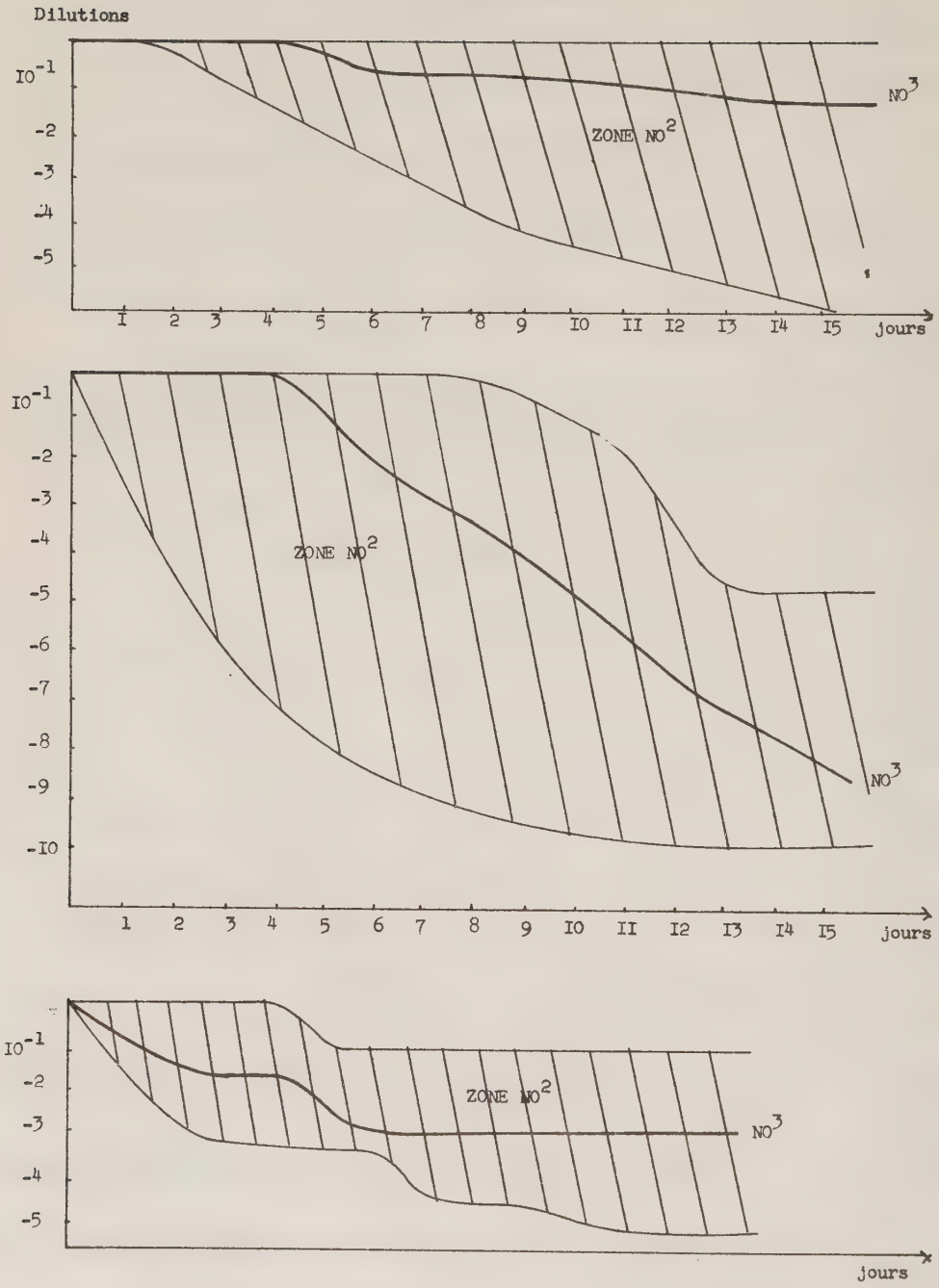


FIGURE VI

APRES 3 MOIS
Dilutions

DENITRIFICATION

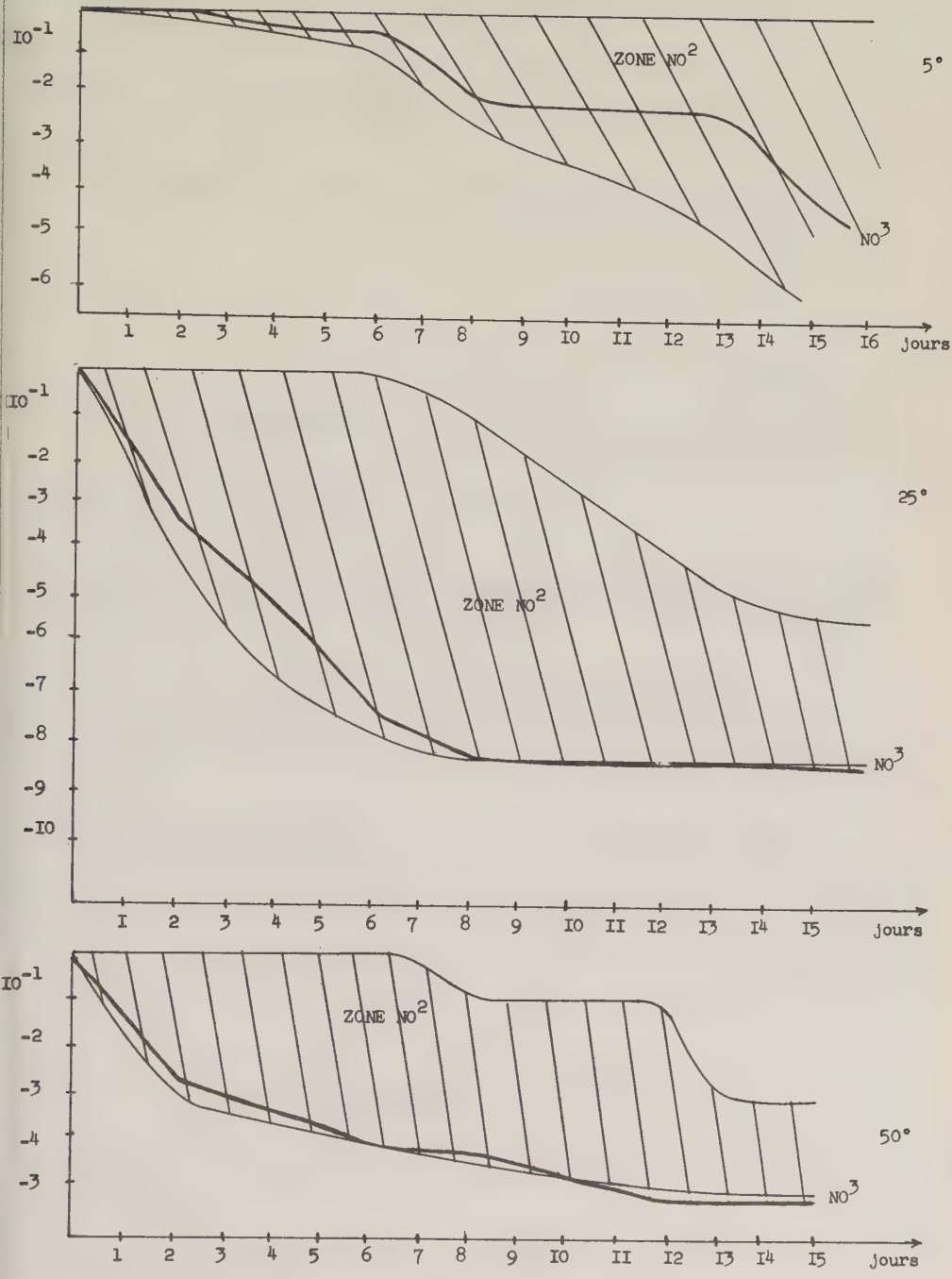


FIGURE VII

Recherche de la disparition des nitrates par la diphénylamine sulfurique.

Le stade intermédiaire de la réaction , c'est-à-dire formation des nitrites est décelable à l'aide du Réactif de Griess.

En troisième lieu, on cherche la présence d'ammoniaque.

Résultats

Fig. V - VI - VII.

Conclusion

1 - De la 1re à la 3e série, on note quelle que soit la température , une accélération des processus.

Le temps de latence diminue par l'utilisation des NO3 et des NO_2.

Resserrement des courbes, très net à la 3e série. Cependant, l'intensité du phénomène reste semblable.

2 - Pour la 3e série, l'optimum est à 25° C.

Les phénomènes sont retardés et très diminués en intensité à 5° C. A 50°C , les phénomènes tendent à s'accélérer, mais diminuent vite en intensité.

Il n'y a pas formation d'ammoniaque. Les dénitrifiants n'ont pas d'action importante dans l'échantillon considéré.

Nous avons complété l'étude de la nitrification et de la dénitrification par les dosages de nitrates et d'ammoniaque:

1 - Compost frais : NH4 = 0,004 % des matières humides
nitrates = 0, 018 %

2 - Après 1 mois et demi : NH4 = 0, 0017 %
Nitrates : disparu.

3 - Après trois mois : NH4 = 0, 0010.

oOo

CHAPITRE II

INTRODUCTION AUX EXPERIENCES "SUR LE TERRAIN"

La décomposition de la matière organique s'effectue :

- en aérobiose,
- en anaérobiose.

IMHOFF et FAIR, (Sewage Treatment, New-York) montrent l'extrême complexité des interractions des cycles de l'Azote et du Carbone.

En présence d'une quantité suffisante d'Oxygène, la décomposition ne provoque pas d'inconvénients (pas d'odeurs, etc...)

Carbone oxydé $\longrightarrow$ CO_2 + chaleur.

L'élévation de la température indique que le processus de décomposition s'effectue dans des conditions d'aérobiose. Les germes mésophiles agissent jusqu'à 40° C puis les Thermophiles interviennent jusqu'à 65° C environ. A 70° C l'activité bactérienne diminue.

En l'absence d'oxygène, la décomposition anaérobie est une réaction de réduction.

L'Azote organique $\longrightarrow$ NH_3

Le Carbone se dégage en CH4

Ces réactions s'accompagnent de dégagement d'odeurs putrides (H2S - mercaptans etc...).

La température s'élève peu au cours de ces réactions. Elle est insuffisante pour détruire les germes pathogène ou les graines parasites.

La préparation du compost par les procédés industriels actuels s'effectue en grande partie dans des conditions d'aérobiose. Les moyens d'aération y sont étudiés avec soin.

De nombreux microorganismes ont un caractère facultatif, (aérobies et anaérobies) et peuvent provoquer des réactions d'oxydation même en présence d'une quantité infime d'oxygène.

Le déroulement du compostage est en réalité une succession de phases aérobies et anaérobies.

La production finale d'un humus est, par ailleurs, plus importante en anaérobiose qu'en aérobiose (SPRINGER) (8I).

L'action des microorganismes qui participent à la décomposition des matières organiques est influencée par différents facteurs:

- Composition des matières à composter (C-N et rapport C/N)
- pH
- Humidité et aération.

L'activité des microorganismes se manifeste par l'élévation de la température.

Elle se mesure aussi à l'aide du dégagement de CO_2

On a constaté que la production du CO_2 est intense au début de la fermentation (80 %) et que la teneur la plus élevée est atteinte vers 45°C puis redescend à 10-20 % vers 60°C.

TEENSMA (84) a étudié la formation des gaz et a constaté que dans les tas en fermentation des zones anaérobies existaient déjà au bout de 24 heures. En effet, en conditions strictement aérobies, il ne peut y avoir plus de 20 % de CO2. Le CO2 supplémentaire provient de la réduction de composés contenant l'oxygène qui oxydera d'autres corps, avec production de CO2. Après quelques jours, le % de CO_2 variait entre I7 et 23 %.

L'auteur considère que la présence d'Hydrogène (30 à 40 % dans les premiers jours de compostage) est vraisemblablement provoquée par la décomposition des hydrates de carbone (sucre, amidon, hémicellulose). Cette décomposition est si rapide, pense-t-il, que l'oxygène n'est plus suffisant pour que le processus se déroule de façon aérobie.

POPEL (65) étudie le quotient respiratoire, c'est-à-dire le rapport CO_2 rejeté et O_2 assimilé.

$$Rq = \frac{O2 \text{ (de } CO2)}{\text{consommation } O2}$$

$Rq < I$ indique des conditions aérobies

$Rq > I$ indique des conditions anaérobies.

I - Evolution de la matière organique

Le processus de décomposition est influencé, nous l'avons vu, par la quantité de Carbone et d'Azote.

De très nombreuses recherches effectuées sur le compost en vue de son utilisation agricole, on a tiré les conclusions suivantes :

Carbone/Azote = 20 représente la valeur limite au-delà de laquelle l'utilisation du compost provoquerait un appauvrissement du sol en Azote.

- Si C/N est trop élevé, les microorganismes utilisent le Carbone et retirent du sol l'azote qui leur est nécessaire (84).

Si le Carbone est insuffisant pour l'utilisation de l'Azote, l'excès de l'Azote s'échappe sous forme de NH3.

WAKSMAN (92) considère que les microorganismes consomment 30 parties de Carbone pour une partie d'Azote.

Divers chercheurs américains (27) donnent le rapport C/N initial = 26 à 38. Les expériences allemandes, hollandaises et suisses confirment ces données (65).

Ces proportions, d'après ces auteurs, assurent une meilleure fixation et limitent les pertes d'Azote .

Cependant, il ne faut comprendre dans la valeur de C que le carbone Actif et non les formes biologiquement inertes, tels les résidus de chauffage, ou très lentement dégradables, comme la lignine.

GERRETSEN (23) considère d'autre part, que 20 % au plus de l'Azote total sont assimilables par les végétaux, et, qu'en conséquence il est nécessaire de doser, à côté de l'Azote total, les quantités d'Azote hydrolysables par SO_4 H2 .

Pour KELLER (37), le C/N est un indice de la capacité de fermentation ; s'il était supérieur à 50, il faudrait ajouter de l'Azote (débris d'abattoirs....).

Le rapport C/N semble devoir être compris entre 30 et 35.

Le souci des agrobiologistes sera d'étudier le cours de la dégradation de la matière organique, afin d'évaluer le degré de maturité du compost.

De nombreuses recherches sont effectuées dans leurs laboratoires. On étudie notamment :

- L'évolution de la matière organique en début et fin de compostage : les matières solubles au bromure d'acétyle (PICHARD) la partie humifiée étant insoluble.

Des expériences diverses ont été faites sur la solubilité des matières organiques dans différents solvants (H_2O, NaOH, ClH, SO4 H2, etc... (GIROM n° 9 p.6).

Il n'entre pas dans le cadre de notre étude de nous livrer à ces expériences, ni d'établir le "Bilan de l'Azote" qui consiste à doser :

Azote nitrique et ammoniacal en début d'expérience, Azote nitritique formé, Azote ammoniacal dégagé, Azote nitrique et ammoniacal restant à la fin de l'expérience.

Soulignons cependant que le rapport Azote minéral/Azote total mesuré à intervalles réguliers permet de suivre l'évolution de l'activité biologique sous différentes influences.

Pour DUCHAUFOUR (15) les courbes de production de l'Azote minéral en fonction du temps renseignent aussi bien que la mesure de la production de CO_2, sur l'activité des microorganismes.

2 - Evolution du pH

En général, le pH initial est compris entre 5 et 7, suivant la composition du matériel initial (La présence d'une grande quantité de cendres : réaction plus alcaline).

En cas de réaction acide, l'addition de substances alcalines risquerait de provoquer la formation de NH_3 gazeux.

D'ailleurs, les réactions de la fermentation se déroulent normalement, même avec un pH acide.

Cependant, pour l'utilisation du terreau, TEENSMA (85) pense que la neutralité assure de l'innocuité du produit, alors qu'une réaction acide suppose que la putréfaction est insuffisante .

3 - Humidité - Aération et Température -

Pour que les processus microbiologiques de la décomposition se déroulent normalement, des conditions d'ambiance sont nécessaires. Parmi celles-ci, l'humidité et l'aération sont de première importance. L'apport de ces éléments dans des proportions différentes facilitera plus ou moins l'activité des microorganismes qui se manifestera notamment par une élévation de température, une formation H_2O et nous l'avons vu, dégagement de CO_2.

De très nombreuses observations ont été faites sur le taux d'humidité et le besoin en oxygène des ordures ménagères en fermentation. Nous citerons notamment les très intéressants travaux effectués à Heidelberg par FARKASDI et à Schiedam par GERRETSEN, ceux de HORSTMANN, BAURAT et Dr SACHSSE, les études de POPEL (65) à l'Ecole Polytechnique de Stuttgart, et de KELLER.

A Baden-Baden, STRAUB et ses collaborateurs ont étudié l'influence de la "durée de persistance" de la température, car du point de vue de l'hygiène, les germes pathogènes sont détruits, nous l'avons vu, par une forte température, mais aussi par une température moins élevée maintenue plus longtemps.

De toutes ces expériences, il ressort qu'une certaine quantité d'air est indispensable pour favoriser l'activité des microorganismes. Cette alimentation en air a été étudiée, au point de vue expérimental, par de nombreux techniciens (travaux de TIETJEN et H. J. BANSE (86).

MAIER (48) et ses collaborateurs ont pratiqué des dosages d'oxygène de l'air contenu dans les tas en compostage par prélèvements en différents points.

SNELL (80) a étudié la demande en Oxygène de la transformation aérobie des déchets organiques et son collaborateur SHELL a constaté que dans des échantillons de volume poreux différents, seuls 0,5 à 5 % de la demande en Oxygène étaient couverts par diffusion. Il y a donc lieu d'apporter un supplément d'air.

Nous mentionnerons brièvement les différents procédés d'aération utilisés :

- Cas de fermentation en tas à l'air libre : retournement des tas par engins mécaniques, tuyaux d'aération parcourant les tas etc..

- Cas de fermentation en cellules : retournement par benne preneuse, aération par plancher perforé etc...

- Cas de fermentation en digesteur : insufflation d'air sous pression, brassage des ordures (retournements des auges de fermentation), etc...

Le besoin en Oxygène est aussi fonction du degré d'humidité.

L'Université de Californie (27) a tiré, de ses expériences, les conclusions suivantes : pour une humidité de 60 à 70 %, il faut retourner le tas tous les 2 jours, pour 40 à 60 % retourner tous les jours, et si l'humidité est inférieure à 40 %, il est nécessaire d'ajouter de l'eau.

Remarquons que des retournements aussi fréquents, ne sont pas toujours nécessaires. En Hollande, en Allemagne, on le pratique une ou deux fois.

On pourrait prendre comme règle générale de retourner la masse dès que les odeurs fétides apparaissent.

L'humidité initiale des ordures ménagères est très variable. S'il est parfois nécessaire de les arroser, on doit aussi souvent les dessécher par un courant d'air.

Ici encore, de très nombreuses expériences ont été pratiquées par tous les spécialistes du traitement des ordures ménagères.

Pour GOTAAS (27) le taux varie entre 30 et 70 %. Il semble qu'une humidité moyenne de 40 à 50 % soit nécessaire pour que le compostage se déroule normalement.

Granulométrie

Le volume poreux de la matière intervient dans l'évolution de la fermentation.

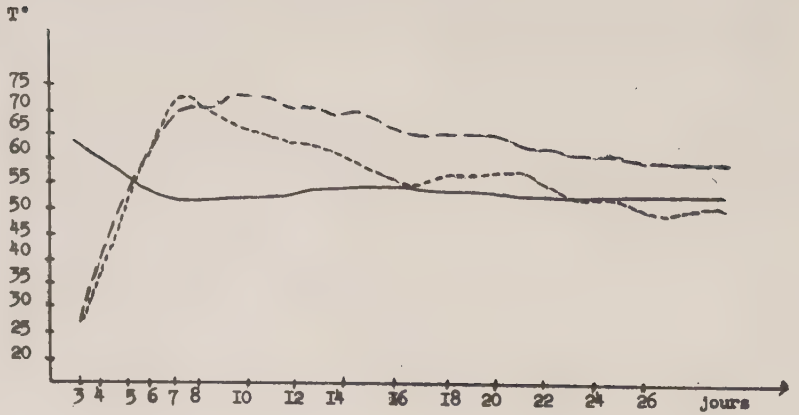
Le broyage a pour effet de multiplier les surfaces d'attaque par les microorganismes et d'assurer une décompositions plus rapide et plus uniforme, en permettant la pénétration de l'air à travers les pores.

Cependant, un broyage trop poussé, surtout en présence d'un excès d'humidité provoque un tassement des particules où l'air ne peut plus pénétrer, et la fermentation est ralentie par la multiplication des zones d'anaérobiose.

Pendant le compostage, il est intéressant de suivre l'évolution de la structure du terreau.

La détermination du volume poreux peut se faire à l'aide du pychtomètre (Cf. les intéressantes recherches pratiquées par TIETJEN et BANCE (86).

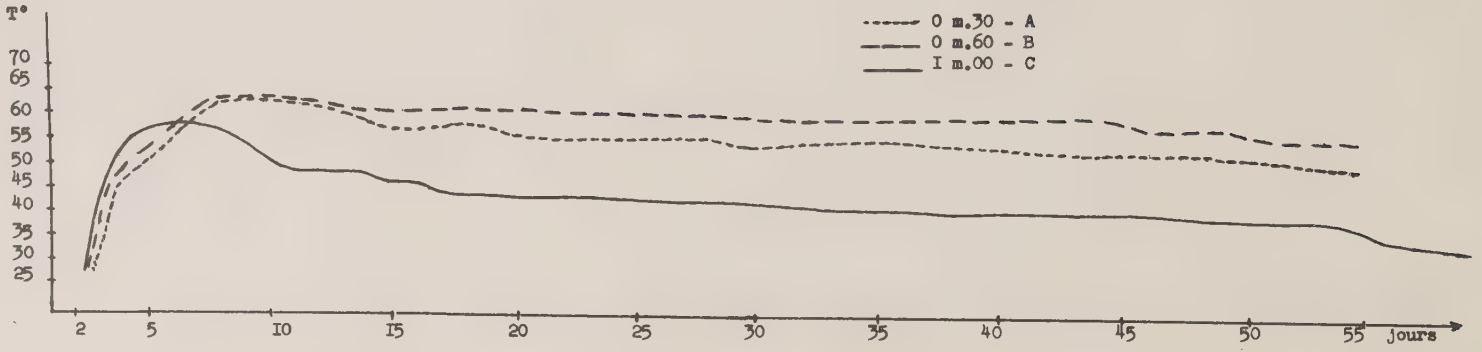
oOo



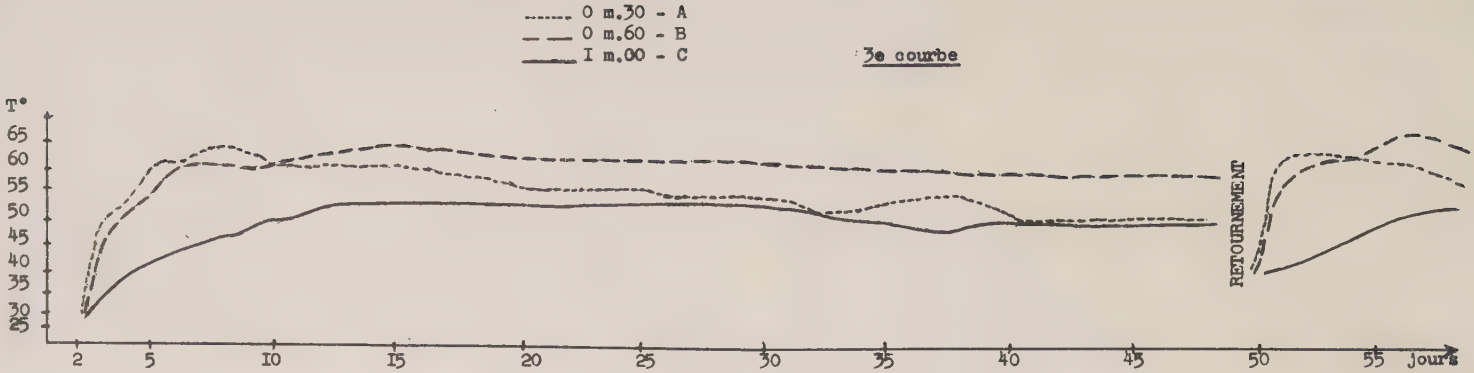
Ire courbe

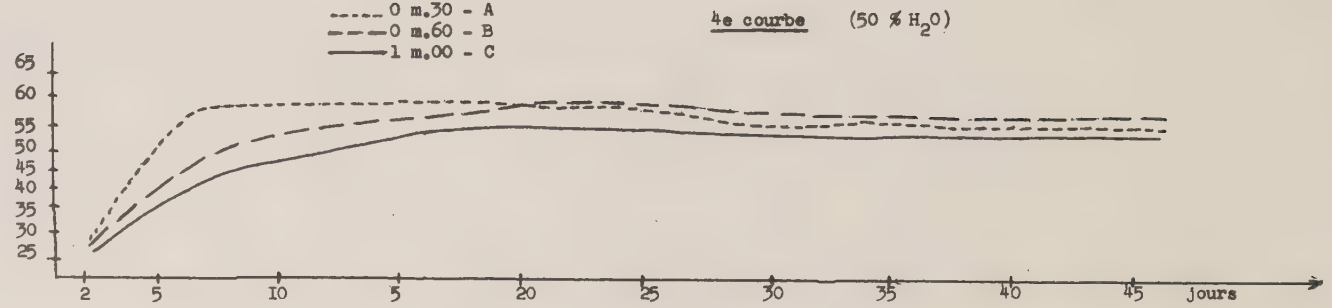
0 m.30 - A
0 m.60 - B
I m.00 - C

2e courbe



0 m.30 - A
0 m.60 - B
I m.00 - C


0 m.30 - A
0 m.60 - B
I m.00 - C
3e courbe
T°
65
60
55
50
45
40
35
30
25
RETOURNEMENT
2
5
10
15
20
25
30
35
40
45
50
55
jours


0 m.30 - A
0 m.60 - B
1 m.00 - C
4e courbe
(50 % H_2O)
65
60
55
50
45
40
35
30
25
2
5
10
5
20
25
30
35
40
45
jours

ETUDE EXPERIMENTALE DE LA FERMENTATION DES ORDURES MENAGERES EN TAS , A L'AIR LIBRE

1re expérience

Conditions : tas : dimensions : 4 m x 4 m x 1,50 m

Aération inférieure par tuyau perforé 25 cm de diamètre.

Prises de température à : 0,30 (point A)
0,60 (point B)
1,00 (point C)

Granulométrie : refus au tamis 25 mm = 0
" 15 mm = 1 %
" 7 mm = 10 %

Taux d'humidité : 19 %

Absence de cendres .

Composition initiale

pH (sol 10 %)	6,25
Mat. Org.	35,60
Mat. Min.	40,50
Azote	0,58
Carbone	17,81
C/N 30	

Evolution (après 1 mois)

Point A marron foncé, odeur humus

Température	= 45° C
H_2O	7 %
pH	6,4
C	14,40
N	0,52
C/N= 27	

Point B Couleur grise, avec traces blanches (Mycelium)

odeur légère de moisissure

Température	= 55° C
H_2O	9 %
pH	6,6
C	11,30
N	0,53

C/N = 21

Fermentation très peu avancée - terreau relativement sec.

Point C Couleur brun foncé (humidité)

Température	= 50° C
H_2O	I8 %
pH	6,35
C	10,20
N	0,60

C/N = 17

oOo

2e Expérience

Conditions : Tas : dimensions 4 m x 4 m x I, 50

Aération inférieure par grille semi-circulaire de 40 cm de diamètre.

Prises de température à : 0, 30 (A)
0, 60 (B)
I, 00 (C)

Granulométrie : refus au tamis 25 mm = 0
" 15 = 0, 5
" 7 = 7 %

Taux d'humidité : 31 %

Absence de cendres.

Composition initiale

pH (sol) 10 %)	7, 1
Mat. Org.	44, 86
Mat. Min.	55, 14
N	0, 81
C	22, 40
C/N = 27	

Evolution (après 60 jours)

Les caractères physiques (odeur, couleur , etc...) sont sensiblement identiques à ceux de la précédente expérience, mais le degré d'humidité plus favorable et l'aération ont provoqué une fermentation plus poussée (les déchets de papier avaient pratiquement disparu dans la zone B).

Point A	Température	50° C
	H_2O	30 %
	pH	6, 8
	C	I8, 90
	N	0, 74
	C/N = 25	

Point B	Température	55°C
	H_2O	30 %
	pH	6,9
	C	20,40
	N	0,47
	C/N = 29	

Point C	Température	40°C
	H_2O	19 %
	pH	6,8
	C	21,25
	N	0,80
	C/N = 26	

oOo

3e Expérience

Conditions : Tas : dimensions 4 m x 4 m x 1,50

Sans tube d'aération

Prises de température à 0,30 (A)
0,60 (B)
1,00 (C)

Retournement du tas après 45 jours

Granulométrie : refus au tamis 25 mm = 0
" 15 = 1%
" 7 = 9%

Taux d'humidité : 32 %

Absence de cendres.

Composition initiale

pH (sol. 10 %)	7,I
Mat. Orga.	44,32
Mat. Min.	55,36
N	0,8I
C	22,30

C/N = 27

Evolution (après 60 jours) :

Caractères physiques : mêmes remarques que pour expérience 2

Point A	8 jours après retournement	Avant retournement
Température	60 °C	50°C
H_2O	17 %	
pH	6,9	
C	19,70	
N	0,76	

C/N = 26

Point B	8 jours après retournement	avant retournement
Température	65°C	60°C
H_2O	27 %	
pH	6,6	
C	22	
N	0,81	
C/N = 27		

Point C	8 jours après retournement	avant retournement
Température	55°C	50 °C
H_2O	27	
pH	7	
C	20,20	
N	0,78	
C/N = 25		

oOo

4e Expérience

Mêmes conditions qu'en 2

50 % H_2O (45 jours de lecture)

(voir courbe 4)

La vitesse d'ascension de la température est moins rapide qu'à un taux inférieur d'humidité.

Aux points B et C, la température maximale est atteinte vers le I6e jour (50 et 55° C)

Au point A, elle est atteinte plus rapidement (dessèchement de la zone extérieure) : Au 7e jour, elle est de 60 ° et y persiste jusqu'au 25e jour puis descend peu, jusqu'à 50° C (fin des lectures).

La température décroît plus rapidement au point C et atteint la valeur minimale (45°) en 45 jours.

oOo

CONCLUSIONS

I - Evolution de la matière organique

Comme nous l'avons souligné précédemment, il ne nous appartient pas de porter une appréciation qualitative sur le terreau obtenu lors de ces expériences (à titre de documentation, et pour compléter notre étude, nous avons cependant effectué les dosages chimiques des différents terreaux.

Les variations de C, N et C/N, la vitesse de minéralisation, l'ammonification et la nitrification sont étudiés par les Spécialistes de l'Agronomie.

2 - Evolution du pH

Expérience I : évolué peu vers la neutralité

Expérience 2 : évolue vers une légère acidité. Les ordures ne contenant pas de cendres, ce fait explique peut être la réaction acide ; puis au cours du compostage, l'acidité demeure, peut être causée par la production d'acides dans des zones d'anaérobiose.

(Au laboratoire, le même échantillon avait eu une évolution normale, grâce à une meilleure aération).

Au bout de 3 mois de compostage, le pH était neutre (pH = 7,3).

3 - Evolution de la température :

Ire courbe (I9 % H_2O - aération)

Au 3e jour, au point C, la température atteignait son maximum (65° C) alors que A et B n'avaient pas évolué (25° C).

Pour ces deux points, la température maximale (65 à 70° C) est atteinte au 5e jour, alors qu'à ce moment, la température de C redescend à 50° C pour s'y maintenir pendant 1 mois.

La température de la zone externe A descend plus rapidement qu'en B ; elle atteint 55° C au 15e jour et s'y maintient pendant toute l'expérience.

Au point B, la température de 65 - 70° C persiste 15 jours, puis descend à 60° C et demeure à cette température pendant 3 semaines.

C'est la zone d'échauffement et de durée de persistance maximum.

2e courbe :

30 % H_2O - grille d'aération - lectures pendant 60 jours.

Point A : Température maximale au 7e jour - (60°C), y demeure jusqu'au 13e jour, puis décroît lentement jusqu'à 55° C (pendant 50 jours environ). Cette zone garde une température de 50 ° C jusqu'à la fin des lectures.

Point B : La température maximale est atteinte en 8 jours (65° C) et baisse très peu à partir du 15e jour (60° C) jusqu'au 45e jour, ensuite 55° C jusqu'à la fin des lectures.

Point C : Température maximale atteinte plus rapidement qu'en A et B . Au 4e jour, elle marque 58° et 60° C. Au 6 e jour, mais redescend plus rapidement à partir du 7e jour, atteint 50° C au 10e jour, décroît lentement au 15e au 30é jour (42° C).

A la fin des lectures, elle n'était plus que de 35° C.

3e courbe

30 % H_2O , I retournement après 45 jours, lectures pendant 60 jours.

Point A : Température maximale au 5e jour (60°C) - décroît lentement après 10 jours et demeure à 55° C jusqu'au 30e jour, puis 50° C jusqu'au retournement.

Au point B : Température atteint un premier palier (55° C) au 5e jour, puis croît lentement pour atteindre la température maximale de 60° C au I3e jour, et s'y maintenir jusqu'au retournement.

La durée de persistance est particulièrement longue dans cette zone.

Au point C : La température n'atteint son maximum qu'au 13e jour (50°C), s'y maintient jusqu'au 45e jour.

Le retournement amène une baisse brutale de la température (35 à 40° C) puis une augmentation:

Point A : 65° C puis redescend à 60° C et persiste pendant 15 jours.

Point B : Augmentation plus lente qu'en A ; la température atteint 65° C après 6 jours et y demeure plus longtemps qu'en A.

Point C : La température s'élève peu, atteint 55° C en 8 jours.

Il est à remarquer que les courbes avant et après retournement ont les mêmes caractéristique.

La 4e courbe :

Montre que la teneur en eau (50° C) a une grande influence sur l'élévation de température. Celle-ci est moins importante mais la durée de persistance est prolongée.

Du point de vue de l'hygiène, les températures atteintes dans les 3 premières expériences sont peut être souhaitables.

(Remarquons cependant que les procédés industriels qui pratiquent le compostage à l'air libre, avec ce taux d'humidité procèdent à 2 retournements, à intervalles différents suivant le procédé : au 4e et 14e jour chez DORR OLIVER et au 1er mois et au 2e mois à ARNHEM, Procédé VAN DER LEE; le compostage dure 5 mois).

Graines parasites :

Pour leur destruction, une certaine teneur en H_2O est bécessaire.

Pendant l'expérience I (I9 % H_2O) les graines de courge, de melon et de tomates que nous avions introduites dans le tas à un mètre de profondeur, n'ont pas été détruites : 60 % en moyenne ont germé sur le coton humide (boîtes de Petri).

- Avec 30 % H_2O, 8 % des graines seulement avaient gardé leur pouvoir germinatif.

oOo

ANALYSES DU TERREAU

Nous avons complété cette étude par les analyses chimiques du terreau en cours d'évolution.

Méthodes d'analyses

Nous avons utilisé :

1 - Méthodes d'analyses du Groupe International de Recherches sur les Ordures Ménagères (GIROM) rep. int.

2 - Engrais - Méthodes d'analyses en usage dans les Pays de l'O.E.C.E. publication de l'O.E.C.E. (1-22-108).

3 - Méthodes d'analyses extraites de "Municipal Refuse Disposal " (53).

4 - Méthodes d'Analyses en annexe au Précis de Pédologie de DUCHAUFOUR (15) etc.....

oOo

Ière expérience

La composition des ordures fraîches a été donnée au chapitre précédent "Microbiologie".

	Point A	Point B	Point C
H_2O	7	9	18
pH	6,4	6,6	6,35
Sur produit sec :			
Matières orga. totales	10,75	31,90	25,60
Matières minérales	89,25	68,10	74,60
Azote total	0,52	0,53	0,54
P2 O5	0,86	0,85	0,98
K2 O	0,70	0,47	0,46
Na2 O	0,46	0,34	0,40
Ca O	5,47	5,50	5,46
Mg O	0,59	0,65	0,67
SO 3	1,70	1,75	1,49
Carbone	14,40	11,30	10,20
C/N	27	21	17

2e Expérience

	Ordures fraîches	Ordures fermentées 1 mois 1/2		
		A	B	C
Humidité	34	30	30	19
pH	7,1	6,8	6,9	6,8
Sur matières sèches :				
Matières organiques	44,86	52,97	48,74	45,68
Matières minérales	55,14	47,03	51,26	54,32
N total	0,81	0,74	0,67	0,80
P2 O5	0,75	0,80	0,71	0,74
K2 O	0,22	0,18	0,27	0,44
Na 2 O	0,28	0,41	0,36	0,57
Ca O	8,50	8,35	8,70	9,24
Mg O	0,57	0,59	0,56	0,78
SO 3	3,33	3,50	3,04	2,96
C	22,40	18,90	20,40	21,25
C/N =	27	= 25	= 29	= 26

3e Expérience

	Ordures fraîches	Ordures fermentées 1 mois 1/2		
		A	B	C
Humidité	34	17	27	27
pH	7,1	6,9	6,6	7
Analyse/matières sèches				
Mat. Organiques	44,32	47,40	45,67	47,30
Mat. Minérales	55,36	52,60	54,43	52,70
N. Total	0,81	0,76	0,81	0,78
P2 O5	0,75	0,72	0,67	0,68
K2 O	0,22	0,44	0,47	0,41
Na 2 O	0,28	0,61	0,55	0,45
Ca O	8,50	8,03	8,15	8,08
Mg O	0,57	0,61	0,52	0,67
SO 3	3,33	3,07	3,20	3,20
C	22,30	19,70	22	20,20
C/N =	27	= 26	= 27	= 25

CHAPITRE III

RECHERCHES SUR DES TERREAUX PROVENANT DE LA FERMENTATION ACCELEREE DES ORDURES MENAGERES DANS DES INSTALLATIONS INDUSTRIELLES

Ces recherches, effectuées sur le compost sortant de la cellule ou du digesteur, comportent :

a - Analyse chimique

b - Minéralisation de l'Azote à l'étuve à 28° C pendant 1 mois.

Toutes les semaines : dosage de l'Azote ammoniacal, l'Azote nitrique du compost, et l'Azote ammoniacal dégagé - évolution du C/N.

c - Microbiologie.

Etude de microflore totale.

protélyse

ammonification

nitrification

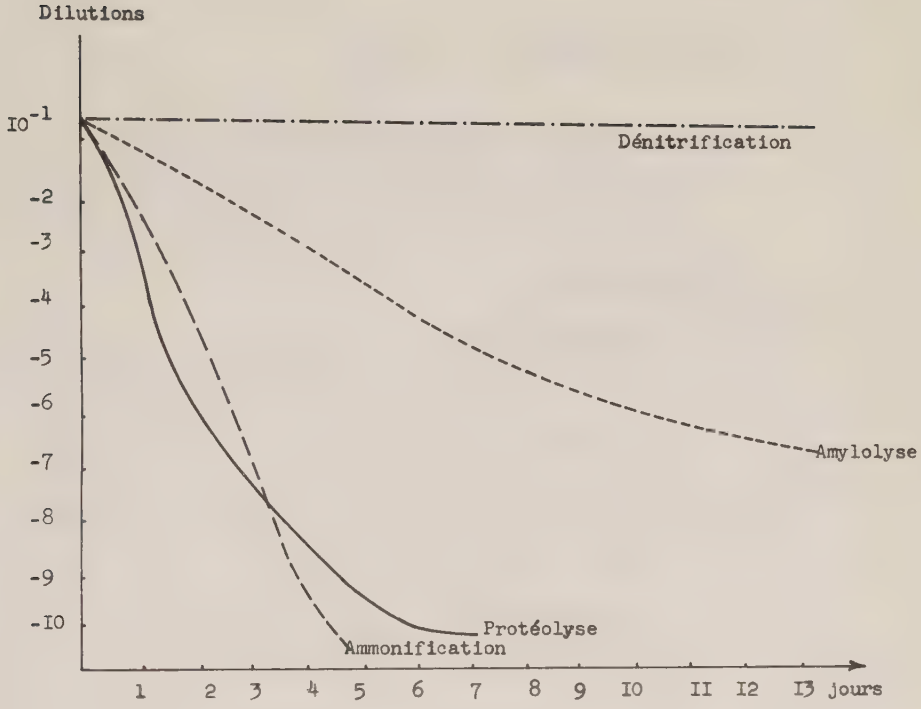
dénitrification

amylolyse.

oOo

ANALYSES DE TERREAUX (Fermentation en cellule ou digesteur)

	TRIGA	BIOTANK	CARREL ET FOUCHE
pH	8,20	8,40	8,20
H2 O	27 %	18 %	17,80 %
Analyses sur produit sec :			
Matières organiques totales	39,3	22,50	20,45
Matières minérales	61,6	63,50	56,60
Azote	0,62	0,38	0,42
Carbone	18,00	9,13	9,30
C/N	29	24	22
P2 05	0,77	0,73	0,82
K2 O	0,50	0,41	0,59
Na 2 O	0,34	0,22	0,35
Ca O	4,88	4,65	6,38
Mg O	0,54	0,41	0,86
C/N après minéralisation 5 semaines	23	23	19


Dilutions
10^{-1}
-2
-3
-4
-5
-6
-7
-8
-9
-10
Dénitrification
Amylolyse
Protéolyse
Ammonification
1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 jours

I - BOITANK

I - BIOTANK

1 - Analyse chimique (voir tableau)

2 - Minéralisation de l'azote à 28° C pendant 1 mois.

Ammonification : l'ammoniaque diminue de 4,20 à 3,50

Bonne nitrification : Azote nitrique passe de 0,33 à 5,80

3 - Microbiologie

a - Microflore totale

Flore abondante qu'on peut évaluer à plusieurs milliar

b - Protéolyse

Bonne au début de l'expérience

Dilution 10^{-10} atteinte en 5 jours, puis se ralentit pendant les dernières semaines.

c - Ammonification

rapide : dilution 10^{-10} en 4 jours

d - Nitrification

Commence assez lentement, puis la fonction augmente et atteint la dilution 10^{-3}.

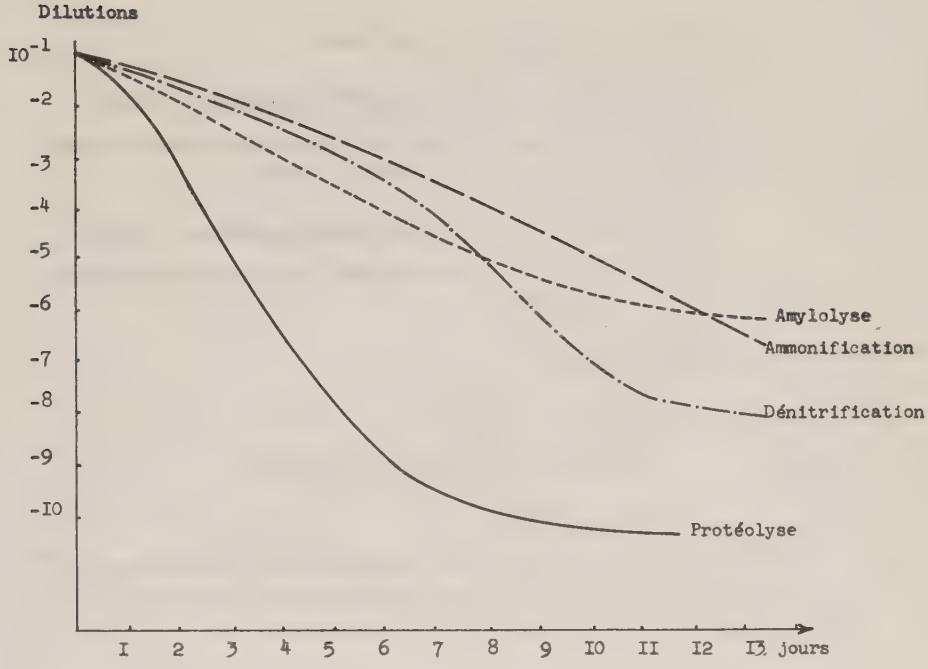
e - Dénitrification

Peu actif.

f - Amylolyse

Atteint la dilution 10^{-5} en 6 jours.

(Voir courbe)


Dilutions
IO-1
-2
-3
-4
-5
-6
-7
-8
-9
-IO
I 2 3 4 5 6 7 8 9 IO II I2 I3 jours
Amylolyse
Ammonification
Dénitrification
Protéolyse

II - TRIGA

II - TRIGA

1 - Analyse chimique (voir tableau)

2 - Minéralisation de l'azote à 28° C pendant 1 mois

Ammonification : le taux de l'Azote ammoniacal est passé de 3,2 % d'Azote total à 0, 8 %.

- Dégagement de NH_3 sous forme gazeuse : 2,5 %
- Nitrification : le taux d'azote nitrique est passé de 0,30 % à 4, 8 %.

3 - Microbiologie

a - Microflore totale

Plusieurs milliards de germes

b - Protéolyse

Bonne au début de l'expérience. La dilution 10^{-9} atteinte en 6 jours puis décroît pendant toute l'expérience.

c - Ammonification

Assez lente au début, puis devient plus rapide : dilution 10^{-4} en 8 jours.

d - Nitrification

Accroissement rapide 10^{-8} en 6 jours.

e - Dénitrification

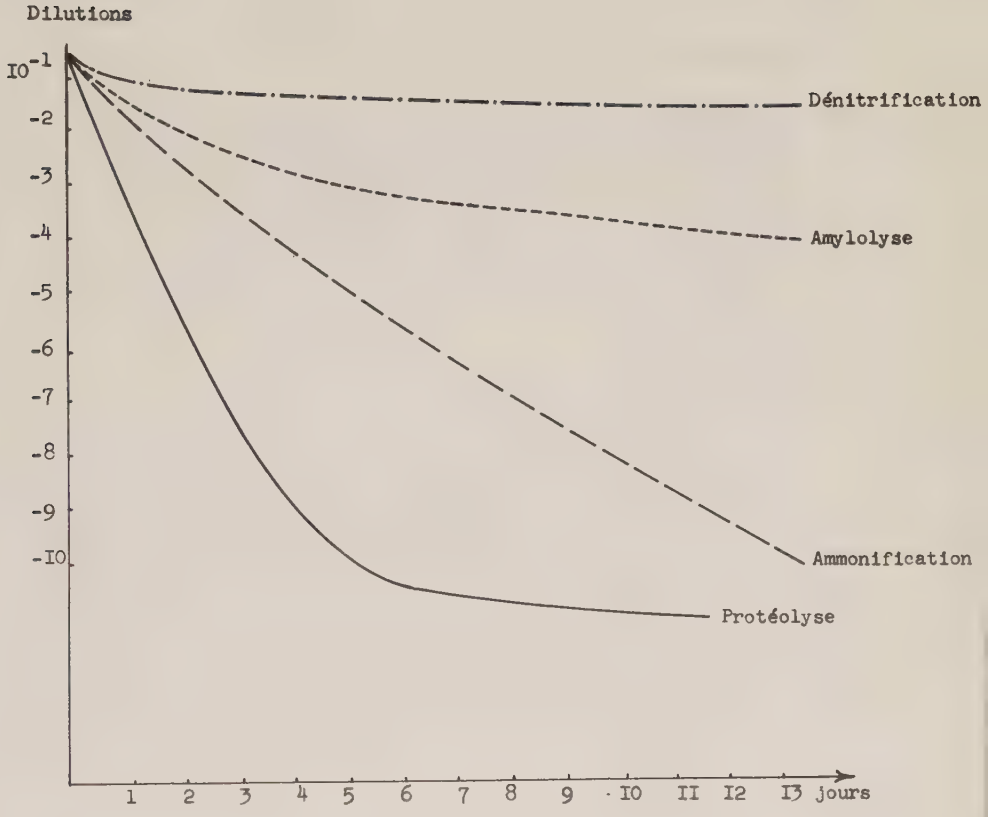
La dénitification est lente au début, puis augmente plus rapidement.

Dilution 10^{-7} en I0 jours.

f - Amylolyse

Atteint la dilution 10^{-3} en 4 jours

(voir courbe)



III - CAREL et FOUCHE

III - CAREL ET FOUCHE

I - Analyse chimique (voir tableau)

2 - Minéralisation de l'Azote à 28° C pendant 5 semaines.

Ammonification : diminution de l'azote ammoniacal de 4 % à 0,12 % - NH3 sous forme gazeuse et se dégage 4,30 %

Nitrification : le taux de 0,30 passe à 6,10 % ce qui montre une bonne nitrification.

3 - Microbiologie

a - Microflore totale

Plusieurs milliards

b - Protéolyse

Active dès le début de l'expérience : dilution 10^{-10} en 5 jours ;

c - Ammonification

Croît pendant les premiers jours et garde son activité pendant toute l'expérience ; dilution 10^{-10} en 4 jours.

d - Nitrification

Croît dès la première semaine.
Dilution 10^{-6} en 6 jours.

e - Dénitrification

Très peu active au début, développement après la 3e semaine.

f - Amylolyse

Croît au début de l'expérience (10^{-3} en 5 jours) puis décroît pendant les dernières semaines.

(voir courbe)

CONCLUSION

Il est difficile de tirer des conclusions de ces quelques expériences faites sur du compost provenant de la fermentation accélérée des ordures ménagères.

Les différences de courbes que l'on observe ne tiennent pas tant au procédé de traitement qu'à la matière elle-même extrêmement hétérogène.

Il semble , cependant que :

1 - L'activité des protéolytiques décroît très rapidement,

2 - Dans l'échantillon le plus ancien (BIOTANK - Prélèvement après stockage quelques semaines), les ammonifiants soient plus actifs et les dénitrifiants le soient moins;

3 - Les amylolytiques ont une activité sensiblement identique dans les échantillons étudiés.

oOo

CONCLUSION GENERALE

Parmi les procédés qui sont utilisés pour éliminer les ordures ménagères, que nous avons définies et dont nous avons décrit les principes dans la première partie de ce travail, les méthodes qui s'adressent à la fermentation à l'air libre, en cellules ou en digesteurs apparaissent plus économiques que l'incinération. Si, du point de vue de l'hygiène, ce dernier procédé semble d'emblée le plus satisfaisant, la fermentation des ordures, lorsqu'elle est bien conduite, permet une récupération d'engrais dans des conditions qui ne sont pas anti-hygiéniques.

Déjà,de nombreux auteurs se sont préoccupés des modifications subies en cours de fermentation par les différents constituants des ordures ménagères, mais les résultats obtenus dans des conditions qui n'étaient pas toujours précisées nous ont paru suffisamment disparates pour justifier un nouvel examen dans une expérimentation menée autant que possible de façon reproductible.

Ainsi, après avoir rappelé les facteurs qui interviennent dans le compostage des ordures ménagères : microorganismes, flore surajoutée, aération, humidité température, les procédés utilisés, le sort des germes pathogènes pour l'Homme, les animaux, les végétaux, nous avons repris , au cours de recherches personnelles, la physico-chimie et la microbiologie du compostage.

Si l'humification et la minéralisation étaient autrefois mises en évidence par voie chimique, on s'attache plus particulièrement maintenant à observer les différents phénomènes sous l'angle microbiologique. C'est ce que nous nous sommes efforcée de faire en laboratoire, et parallèlement sur le terrain, ou dans des installations industrielles de compostage, afin d'observer les réactions des microorganismes dans les conditions idéales de développement, mais aussi dans leur milieu naturel, ou des influences diverses (température, aération, humidité, etc...) entravent ou accélèrent les processus de réaction.

En laboratoire, nous avons expérimenté à des températures différentes (5°, 25°, 50°), afin de mettre en évidence l'action simultanée des germes thermophiles, mésophiles et psychrophiles, reproduisant ainsi les conditions naturelles du compostage.

Nos courbes de températures, réalisées à partir de tas d'ordures broyées en fermentation nous ont effectivement prouvé que la transformation s'effectuait aux températures choisies pour l'expérimentation, qu'elles les dépassaient parfois pour atteindre 70 °, mais qu'alors les réactions microbiennes étaient ralenties.

La température de 50° semble être la température optimale pour réaliser dans de bonnes conditions la transformation microbienne. De plus, c'est à cette température que la plupart des germes pathogènes pouvant se trouver dans les ordures sont détruits.

Avant d'aborder l'étude des fonctions microbiologiques, nous avons procédé à une analyse chimique, insistant plus particulièrement sur les teneurs en Carbone et en Azote, deux notions fondamentales et corollaires et dont les variations donnent un premier aperçu de l'activité minéralisante de la flore zymogène. Le rapport final C/N traduit l'activité des cycles du Carbone et de l'Azote et caractérise le le terreau obtenu après fermentation.

Nous avons étudié le pouvoir absorbant de celui-ci. Sa texture colloïdale lui permet de retenir l'eau et différents cations (Ca, Mg, K K, Na) . Cette propriété doit être retenue par l'agrobiologiste, dans l'emploi du terreau d'ordures ménagères pour l'amendement des sols.

Dans l'étude microbiologique proprement dite, nous avons procédé à une évaluation de la microflore totale, qui se révélait très abondante dans les échantillons considérés.

Les germes mésophiles étaient très nombreux dans les ordures fraîches, puis dans le terreau en fin de fermentation. On observait parallèlement au laboratoire et sur le terrain, une diminution de leur nombre au cours du compostage, leur action étant alors masquée par une prolifération intense des thermophiles. Les courbes de température indiquent nettement ce phénomène.

La micropopulation non bactérienne est bien représentée dans les ordures ménagères.

Les Champignons sont très tolérants aux différents facteurs physiques (pH, aération, humidité) Ils sont thermophiles ou mésophiles, mais ces derniers sont les plus actifs. De nombreuses espèces sont représentées parmi lesquelles on a observé : Géotrichum, cladosporum, Penicillium et des Mucorinées. Les Actinomycètes sont très nombreux, très tolérants aux agents extérieurs, mais plus particulièrement actifs en aérobiose. On a isolé surtout Streptomyces et Micromonospora.

Nous avons replacé l'étude des différentes fonctions microbiologiques dans leur cycle propre.

Le cycle du Carbone comporte l'examen de la dégradation de l'amidon (amylolyse) et de la cellulose (cellulolyse).

Les expériences de laboratoire montrent une activité amylolytique très réduite à 5° et à 25°, légèrement plus développée à 50°. Dans les terreaux provenant des usines de compostage, l'activité n'était guère plus intense. La cellulose est la substance carbonée la plus répandue dans les ordures ménagères. Elle peut représenter 30 à 40 % du poids total.

La cellulolyse occupe une place très importante dans le cycle du Carbone.

Par leur cellulase, certaines bactéries et des Champignons dégradent la cellulose, en aérobiose ou en anaérobiose.

Les cellulolytiques anaérobies mésophiles sont assez nombreux au début de l'expérience, et augmentent au cours de l'évolution du terreau. Cependant, il faut constater que leur activité est insuffisante pour dégrader complètement la cellulose. Leur action est ralentie par la présence d'autres substances (lignine) difficilement attaquées.

Le broyage des ordures ménagères facilite cependant l'action des cellulolytiques.

Le cycle de l'Azote comporte quatre étapes : fixation d'azote atmosphérique, ammonification, nitrification, dénitrification .

La fixation de l'azote moléculaire est réalisée en aérobiose (Azotobacter) ou anaérobiose (Clostridium).

Nous n'avons décelé que rarement la présence de Azotobacters au cours de nos expériences. Ceux-ci sont particulièrement sensibles à la chaleur et au manque d'oxygène. De plus, leur croissance semble inhibée par la présence du compost d'ordures ménagères lui-même..

Par contre, les Clostridium étaient nombreux dans les ordures déjà fermentées. Une humidité de 40 % environ est nécessaire à leur prolifération.

La protéolyse précéde l'ammonification. L'activité des germes protéolytiques, qui transforment les molécules protéiques en protéoses et en peptides est surtout importante à 25°, pendant toute la durée de l'expérience, avec un léger maximum d'intensité après 1 mois I/2 de fermentation.

Dans le terreau industriel, provenant des installations de compostage, l'activité des protéolytiques est plus rapide.

L'ammonification , ou transformation en ammoniac de l'Azote protidique, est intense à la température de 25° dans le compost d'ordures fraîches, et pendant toute la durée de l'expérience. Aux températures de 5° et 50°, par contre, la flore ammonifiante est beaucoup moins active. Les résultats obtenus avec des terreaux industriels montrent une assez grande disparité, due vraisemblablement à la composition des échantillons étudiés.

Dans la nitrification, l'ammoniac est oxydé en acide nitreux (nitritation) qui sera lui-même transformé en acide nitrique et nitrates (nitratation). La recherche des ferments nitreux et nitriques a été pratiquement négative. Dans les conditions naturelles de fermentation, la nitrification se produit parfois, mais de façon très atténuée et très variable.

La dénitrification est le terme final du cycle de l'Azote, et consiste en une réduction de l'Azote nitrique en ammoniac ou en Azote gazeux. Nous avons remarqué une accélération du processus de dénitrification durant toute l'expérience, quelle que soit la température. Après trois mois de fermentation, les phénomènes sont retardés à 5° et à 50°, l'optimum demeurant à 25°. Nous n'avons pas cependant décelé la présence d'ammoniac. Les dénitrifiants étaient en général peu actifs dans les terreaux industriels que nous avons expérimentés.

L'étude des différentes fonctions nous a amenée à comparer la transformation des ordures ménagères à la formation d'un humus dans lequel se retrouvent les éléments indispensables à la vie végétale : N- K- P, ainsi que les oligo-éléments et les sels minéraux. Le terreau ainsi obtenu est apprécié comme amendement des sols cultivés.

oOo

Cependant, si les procédés industriels de fermentation accélérée semblent ne présenter que des avantages, du point de vue économique il ne faut pas oublier que le but de ces exploitations est l'écoulement du terreau, ce qui nécessite un étude, a priori, des besoins de l'agriculture dans le lieu considéré, avant d'implanter de telles usines.

Les décharges sont un moyen économique d'éliminer les résidus. Cependant, il est déplorable que les décharges dites contrôlées ne le soient généralement pas et qu'elles constituent un danger pour la santé publique.

A ce titre, le Pharmacien , acteur permanent de l'éducation sanitaire, doit agir soit dans les Assemblées Nationales, Départementales ou Municipales, dans lesquelles il peut être amené à siéger, soit dans son Officine, auprès du public pour attirer l'attention sur ces problèmes et parvenir à ce que l'élimination des déchets ne se fasse plus en dépit des règles élémentaires de l'hygiène .

oOo

ABREVIATIONS

A K A - Groupe d'étude pour l'économie communale des ordures ménagères et autres produits de déchets - Secrétariat général : Stadtbauamt, Baden Baden (Sammlung, Aufbereitung und Verwertung von Siedlungsabfallen, herausgegeben von der Arbeitsgemeinschaft fur Kommunale Abfallwirtschaft).

A G H T M- Association Générale des Hygiénistes et Techniciens Municipaux - Secrétariat Général : 9, RuedePhalsbourg Paris 17e.

G I.R O M - Groupe International d'Etude pour les Recherches sur les Ordures Ménagères - Revue trimestrielle ; Secrétariat Général : Institut Fédéral pour l'Aménagement, l'épuration et la protection des eaux - Physikstrasse 5, Zurich.

I N T A P U C - International Public Cleansing - Association Internationale du Nettoiement (en liaison avec l'A G H T M , 9, rue de Phalsbourg , Paris I7e).

I V F - Association des Ingénieurs des Villes de France - Revue Mensuelle - Secrétariat général : 22, rue de Vorges - Vincennes (Seine).

T S M - Techniques et Sciences Municipales - Revue Mensuelle de l'Association Générale des Hygiénistes et Techniciens Municipaux, 9 rue de Phalsbourg, Paris I7e.

Vu, le Président de Thèse :

M. A. QUEVAUVILLER

Vu, le Doyen de la Faculté :

M. G. VALETTE

Vu et permis d'imprimer
le Recteur de l'Académie de Paris

J. ROCHE

BIBLIOGRAPHIE

1 - R. ABRARD -

Conditions géologiques des décharges contrôlées d'ordures ménagères.
Congrès A G H T M - St Malo, I963.

2 - O. ANDRES -

L'agriculture et le compost
G I R O M , 15 p. 6.

3 - A. BIRRE -

Un grand problème humain, l'humus
(4, rue de Cérisoles, Paris - I959).

4 - BLANC -

Intervention au débat sur l'utilisation agricole des ordures ménagères.
Congrès A G H T M - Aix en Provence, Mai 1959 - T S M , Octobre I959.

5 - J. BORDAS -

Les différents traitements des ordures ménagères - Ann. d'Hygiène Ind. et Soc. - Mai I93I, p. 237.

6 - R. BRAUN et coll. -

Récents travaux de recherches effectués dans le cadre du G I R O M
Congrès de Vienne I964 (I N T A P U C).

7 - CHOUSTINE -

Microorganismes thermophiles dans le compost et le fumier -
Publication de l'Académie des Sciences de l'URSS, Moscou I950, p. 51.

8 - N. CHRISTELLE -

Elimination des ordures ménagères urbaines -
Actualités Pharmaceutiques d'Hygiène et d'Education Sanitaire - 2e Série - I963, I964.

9 - N. CHRISTELLE -

Station d'épuration et de compostage de St Hélier, Jersey - T S M , Janvier I964.

10 - M. CHARPENTIER et N CHRISTELLE -

Traitement des ordures ménagères -
Revue de la Chambre des Ingénieurs Conseils de France - Février I963, p. 15.

11 - M. CHARPENTIER -

Les traitements modernes des ordures ménagères (décembre I96I)

12 - R. DAJOZ -

Les insecticides - Que sais-je n° 829, p. 70.

13 - R. DORFMANN -

Rapport au Congrès International du Nettoiement - Goteborg 1961 - T S M , Décembre 1961.

14 - R. DORFMANN et DEFECHE -

Elimination des résidus urbains aux Etats Unis - T S M , Juin I964.

15 - Ph. DUCHAUFOUR -

Précis de Pédologie -
Masson ed. I960.

16 - J. DUCHE -

Bactériologie de l'humus -
L'alimentation normale I958.

17 - R. FABRE -

Toxicité des produits insecticides -
Annales des Epiphyties I954 p. I77.

I8 - R. FABRE -

Données toxicologiques sur les anticoagulants raticides -
Ann. Pharm. Fse, I953, p. 450.

19 - R. FABRE et TRUHAULT -

Toxicologie des produits phytopharmaceutiques, p.240.

20 - G. FARKASDI -

Microbiologie du compostage -
G I R O M , 13 p. 4.

21 - G. FARKASDI, PFEIFFER, OBRIST -

Essais sur l'action d'apports de différentes substances dans le compostage en tas de gadoues et de boues d'épuration -
G I R O M 19, p. 41.

22 - GABOLDE -

Etablissements dangereux, incommodes et insalubres -
Ed. Sirey, Paris.

23 - GERRETSEN -

Questions spéciales ayant trait au compostage et aux méthodes d'investigation -
Session de l'A K A - Dusseldorf 1957, G I R O M 3 p. 24.

24 - H. GLATHE - (in Hortsmann) -

Détermination du degré de putréfaction du compost,
G I R O M 13, p.15.

25 - C.G. GOLUEKE -

A critical evaluation of inoculuum in composting (p.40)

26 - C.G. GOLUEKE et H.B. GOTAAS -

Public health aspects waste disposal by composting
I954, p. 339.

27 - H.B. GOTAAS -

Compostage et assainissement -
Organisation Mondiale de la Santé, Genève I959 Masson Ed.

28 - W.D. GRAY -

Evacuation des gadoues - Quelques considérations d'ordre microbiologique sur l'évacuation des gadoues, particulièrement en ce qui concerne la dégradation de la cellulose -
G I R O M 10 p. 20.

29 - HENNEQUIN -

Phytoma n° 87 p. 29 à 32.

30 - JAAG -

Presents day problems in composting -
Inst. of purif. part 4, I958 p. 436.

31 - JANSEN et KUNST -

Water pollution control federation U S A -
Janvier I962.

32 - A. JOANNON -

Utilisation agricole des ordures ménagères urbaines -
Thèse I960, Institut Technique de pratique agricole.

33 - P. JOANNON et M. DEPARIS -

Santé Publique et aménagement du territoire -
Année Med. Pratique, I955 , p. 315.

34 - A. JOULOT -

Les ordures ménagères, composition, collecte, évacuation, traitement,
Ed. Berger Levrault - Paris I946.

35 - KAIBUCHI -

Researches on the composting of refuse and garbage in Kobé city, Japan.

36 - J. KEILLING -

Contribution à l'étude de la biologie des sols -
G I R O M 16 p. 16.

37 - P. KELLER -

Le degré de maturité du terreau de gadoues ou de gadoues et de boues.
Sa signification et les méthodes de détermination -
G I R O M 10 p.6.

38 - KERHEN -

Nocivité des ordures ménagères - notes non publiées.

39 - KERHEN -

Salubrité des ordures ménagères et l'agriculture -
Société des Ingénieurs et Techniciens S T I - mars 1963.

40 - KERHEN et VAILLANT -

Bulletin d'information du Bureau Central d'Etudes pour les équipements d'Outre Mer n° 23 - 1963, p.50.

41 - K.H. KNOLL -

Influence de divers procédés de compostage sur les bactéries pathogènes non sporifères -
G I R O M 19 p.3 .

42 - LAJUDIE -

Microorganismes thermophiles -
Thèse Alger 1962.

43 - M. LANCHIER -

Installation et fonctionnement d'une décharge contrôlée d'ordures ménagères -
Congrès A G H T M - St Malo 1963.

44 - R. LEFEBVRE -

Utilisation agricole des déchets urbains - L'alimentation normale, 1958, p. 11.

45 - LE MOAN -

Prévention murine et dératisation -
Actualités Pharmaceutiques d'Hygiène et d'Education Sanitaire 1962 - 1963, p. 80.

46 - LISSOT -

Revue de Pathologie Générale et de Physiologie clinique Janvier 1964, p. 21.

47 - M. LOUDET -

Les décharges contrôlées à travers les villes de France
Congrès A C H T M , St Malo I963.

48 - MAIER, WILLIAMS et MALLISON -

Composting studies, composting municipal refuse by the aération, Bin process,
Eng. Bull. Proc. Ser. n° 94, U S A - I957.

49 - MARTIN -

Problèmes phytopathologiques dans le compostage des gadoues, G I R O M I9, p. 8.

50 - P. MOLINARI -

Procédés de destruction des ordures ménagères par traitement biologique.
Congrès I V F. Vincennes, avril I960.

51 - MOREL -

Elimination des ordures ménagères dans quelques villes de France, I V F rev. Novembre I959.

52 - MOREL -

Méthode Dano, biostabilisateur,
I V F , rev. janvier - février I955.

53 - Municipal Refuse Disposal -

Commitee on refuse disposal -
American Public Works Association.

54 - OBRIST -

Essais sur l'action des substances additionnelles introduites dans le matériel composté en tas -
G I R O M I9 p. 23.

55 - Organisation Européenne de Coopération Economique -

Collecte et évacuation des Ordures Ménagères -
Nettoiement des voies publiques -
Mission n° 66 - Presses Universitaires de France - I953.

56 - J.W. PARTRIDGE -

Cours enseigné à l'Institut de Technique Sanitaire -
Conservatoire National des Arts et Métiers.

57 - J.W. PARTRIDGE -

Méthodes modernes de traitement des ordures ménagères en vue de leur utilisation par l'agriculture - Rapport au Congrès d'Aix - Marseille T S M - Octobre I959 p. 280.

58 - J.W. PARTRIDGE -

Les décharges contrôlées des résidus solides - Congrès du G I R O M - Essen I962.

59 - J.W. PARTRIDGE -

Annales d'hygiène publique industrielle et Sociale - Février I937.

60 - J. POCHON et TARDIEUX -

Techniques d'analyses en microbiologie du sol - Collection "Techniques de base" ed. de la Tourelle.

6I - J. POCHON et H. de BARJAC -

Traité de Microbiologie des sols - Ed. Dunod I958.

62 - J. POCHON et CHALVIGNAC. -

Ann. Agricoles p. 429.

63 - J. POCHON et Y . TCHAN -

Précis de microbiologie du sol - Masson ed.

64 - POPEL -

Questions spéciales ayant trait au compostage et aux méthodes d'investigation - Session de l'A K A - Dusseldorf I957.

65 - POPEL -

Influence de l'humidité et de l'apport d'oxygène sur le compostage des ordures ménagères - G I R O M 13 p. I6.

66 - POTTEVIN -

Traité d'hygiène - Brouardel et Mosny t. 15, ed. Baillère, Paris, I9II.

67 - H. PRAT -

Transformation en engrais organiques par fermentation accélérée des ordures ménagères -
Rev. I V F , Janvier I958.

68 - H. PRAT -

Destruction des ordures ménagères -
T S M , Février I957.

69 - PREVOST et SAISSAC -

Annales Institut Pasteur I950 - 79 - 328.

70 - A. QUEVAUVILLER -

Actualités Pharmaceutiques d'hygiène et d'éducation sanitaire, I962 - I963, p. 3.

71 - A. QUEVAUVILLER et BINET -

Désinfection, dératisation, désinsectisation -
Mises au point biologiques -
Vigot ed. Paris I963.

72 - Refuse Collection Practice - by Commitee on refuse collection, American Public Works Association.

73 - RODELLA -

Rapport au Congrès de Francfort 1935 (A K A)

74 - A. ROCHAIX, P. SEDAILLAN et R. SOHIER -

Traité d'hygiène, éd. Masson I946.

75 - G. RUMEAU -

Les établissements classés dangereux, insalubres, incommodes; prévention technique de leurs nuisances (Eyrolles I955).

76 - SCHEFFER et ULRICH -

Humus und humus dungung -
Stuttgart, I960.

77 - SCHUPP -

L'agriculture et le compost - G I R O M 15

78 - J.C. SCOTT -

Health and agriculture in China.

79 - J.C. SCOTT -

Health aspects on composting with night soil -
Who Exp. Comm. on envir. Sanit. Geneva - July I953.

80 - J .R. SNELL -

Some engineering of high composting -
Am. Soc. Civ. Eng. - San. Eng. Div.
vol. 83 n° Sa 1 - I957.

81 - SPRINGER -

Questions spéciales ayant trait au compostage et aux méthodes d'investigation -
Session de l'A K A à Dusseldorf I957 - G I R O M 3 p. 22.

82 - STITTCHING COMPOST -

The préparation and the use of compost derived from city refuse in the Netherlands - March I956.

83 - D. STRAUCH -

Evacuation des ordures ménagères du point de vue de l'hygiène vétérinaire -
Congrès du GIROM - Essen I962.

84 - B. TEENSMA -

Recherches concernant l'influence de la hauteur des tas de compost sur le processus de compostage - G I R O M 11 p. 14.

85 - B. TEENSMA -

Nouvelles directives pour le compostage dans les Pays Bas, de gadoues fraîches broyées - G I R O M 16 p. 7.

86 - C. TIETJEN et BANSE -

Recherches sur la structure des tas de terreau de gadoues, F I R O M 8 p. 3.

87 - VAN VUREN -

Soil fertility and sewage - London I949.

88 - VERDIER et KERHEN -

Oléagineux 3 p. 153.

89 - VERPLANCK -

Eléments de microbiologie générale et agricole - Maison Rustique, Paris 1932.

90 - VON KLOPOTEK -

Ueber das Vorkommen und Verhalten von Schimmelpilzen bei der Kompostierung stadtischer Abfallstoffe - Antonie van Leeuwenhoek 28, I4I - I60 (I962).

91 - VON KLOPOTEK -

Les gadoues et la moisissures - G I R O M 19 p. 10

92 - S.A. WAKSMAN -

Humus - Baillière - Tindall, Londres I936.

93 - S.A. WAKSMAN -

Soil Microbiology - Wiley - New York, I952.

94 - S.A. WAKSMAN et STARKEY -

In soil and the microbe I93I p. I3I.

95 - WARD -

Américan Public Health I946, 36 p. 1427.

96 - WILLIAMS -

Refuse Collection and disposal - U S department of health , éducation and welfare - Washington 25 - D C .

97 - WINOGRADSKI -

Microbiologie du sol, I947 p. 458, Masson ed.

98 - WINOGRADSKI -

Annales de l'Institut Pasteur, I929 - 43 - 549.

TEXTES REGLEMENTAIRES

- Décret du Ier Avril I964 sur la règlementation des Etablissements dangereux, insalubres ou incommodes.

- Arrêté Préfectoral du 7 mai I936, dit Règlement Sanitaire de la Ville de Paris.

- Règlement Sanitaire départemental type du 24 mai I963.

- Instructions générales du Conseil Supérieur d'Hygiène Publique de France, relatives à l'évacuation des Ordures ménagères des villes -(13 juin 1938) J.O. du 5 juillet I938.

- Instructions générales du Conseil Sypérieur d'Hygiène Publique de France sur les conditions hygiéniques de la collecte des ordures ménagères (I8 novembre I946). Circulaire du 10 janvier 1947 (Santé Publique).

- Décret n° 59 - 1080 du 31 aout I959, concernant l'approbation des contrats relatifs à la collecte, à l'évacuation ou au traitement des ordures ménagères, JO du I7 septembre I959.

- Circulaire Ministérielle du 14 avril I962 relative à l'évacuation et au traitement des ordures ménagères, JO du 2 mai I962.

oOo

AGEMP